

## ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента Бондаренко Семена Володимировича на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача Демиденка Володимира Едуардовича за темою: «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованої системі управління», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

### **Актуальність теми.**

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності та зменшенню часу виконання бойової роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) шляхом впровадження практичних стрільб гарматою у умовах виникнення різних збурень. Це досягається засобами удосконалення імітаційної моделі пострілу та розробки методів верифікації ланок ланцюга станів життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, які утворюють зворотний зв'язок. Основною метою роботи є створення більш точних та надійних моделей, що дозволяють реалістично відтворювати умови бойових дій та забезпечують ефективну взаємодію між різними компонентами системи управління.

Для досягнення цієї мети необхідно розробити новий спосіб верифікації складу піротехнічної суміші методом бібліотеки. Це передбачає удосконалення моделі рівноважної термодеструкції за температурою суміші інертного та порохових газів, що дозволить більш точно визначати хімічний склад та його зміни під впливом різних температурних режимів. Такий підхід забезпечить більш точне моделювання процесів горіння та спалювання порохових сумішей, що є критично важливим для забезпечення стабільності та надійності артилерійських пострілів у різних умовах.

Крім того, існує потреба удосконалити методи та способи автоматизованого керування стрільбою причепних артилерійських установок. Це передбачає використання моделей стохастичних процесів, які дозволяють враховувати випадкові та непередбачувані зміни в умовах бойових дій. На основі цих моделей необхідно розробити зразки бойової роботи окремих самохідних артилерійських систем, що забезпечать високий рівень адаптивності та ефективності в реальних бойових ситуаціях. Такий підхід сприятиме підвищенню надійності систем управління та зменшенню часу реагування на зміни в бойових умовах.

Додатково, необхідно розробити модель і метод пошуку заданої кількості вимірювачів серед безлічі можливих розташувань по лінії стрільби. Це дозволить забезпечити ефективну реєстрацію балістичної та дульної хвилі, що є ключовим елементом для системи верифікації пострілів. Оптимізація розташування вимірювачів сприятиме підвищенню точності визначення траєкторії снаряда та його взаємодії з цільовими об'єктами, що, в свою чергу, підвищить загальну ефективність артилерійських систем. Розробка та впровадження запропонованих методів і моделей є надзвичайно актуальними у сучасних умовах розвитку артилерійських систем. Вони сприяють підвищенню бойової ефективності та оперативної спроможності КІСУ, забезпечують надійність та точність виконання бойових завдань на-

віть у складних та динамічних умовах. Таким чином, результати цієї дисертаційної роботи мають значний практичний потенціал для модернізації артилерійських систем та підвищення їхньої конкурентоспроможності на сучасному полі бою.

Актуальність теми також підтверджується тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень згідно планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Інституті військово-морських сил Національного університету «Одеська морська академія» на 2020 рік, і є складником д/б НДР (реєстр. № 0120ZS002970, шифр «Рапан-Б»); в Національному університеті «Одеська політехніка»; за темою «Підвищення ефективності АСК спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», (№ ДР 0122U200907).

### **Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.**

Наукову новизну теоретичних та експериментальних результатів дослідження представлено в періодичних джерелах інформації, а саме:

1. Brunetkin, O., Maksymov, M., Dobrynin, Y., Demydenko, V., Sidelnykov, 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.
2. Boltenev 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.
3. 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
4. Демиденко В.Е., Реценко С.С., Максимов М.М. Метод визначення трьох акустичних сенсорів для реєстрації балістичної хвилі артилерійського пострілу. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2024. №41(117). с.43- 52.
5. Бутенко О.В., Максимов М.В., Демиденко В.Е., Брунеткін О.І. Метод пошуку розв'язання складної задачі інтерпретації для розв'язання зворотної задачі з визначення складу пального. *Суднові енергетичні установки. Науково-технічний збірник*. Одеса. 2019. №39. С. 30–42.
6. Максимов М. В., Демиденко В. Е., Бутенко О. В., Брунеткін О. І. Модель піролізу органічних речовин змінного складу. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2020. №3. С. 12-24.
7. Demydenko V.E., Maksymov M.V., Boltenev 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.
8. 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.
9. Спосіб визначення енергетичної ефективності артилерійської гармати: пат. України на винахід. № 128164; заявл. 05.04.21; опубл. 24.04.24, Бюл. № 17.

10. Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею : пат. України № 127193; заявл. 20.11.20 ; опубл. 31.05.2023. Бюл. №22.

Опубліковані результати, в періодичних джерелах інформації, відповідають науковим результатам, які представлено в роботі:

1. Удосконалено метод визначення рівноважного вмісту продуктів горіння пороху постійного складу. Зокрема, у відповідній моделі для газоподібної та конденсованої фаз горіння як спосіб визначення поточної бруutto-формули артилерійського пороху використовують їх мольні частки, що утворюються в ємності фіксованого об'єму внаслідок зміни температури порохових газів, що утворились як результат спалювання порцій пороху змінної маси в інертній атмосфері. Це унеможливило догорання утворених порохових газів при негативному кисневому балансі порохової суміші, 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 ланцюгу станів життєвого циклу артилерійського пострілу.

2. Виявлено доцільність подальшого удосконалення імітаційної моделі пострілу та методу ефективного керування станами бойової роботи причіпної артилерійської гармати за умов зовнішніх динамічних збурень, що 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 чотирикомпонентної моделі керування бойовими діями окремої самохідної артилерійської системи без зміни вогневої позиції, що дозволило провести верифікацію ланки траєкторії в ланцюгу станів життєвого циклу артилерійського пострілу.

3. Вперше запропоновано метод пошуку трьох вимірників серед існуючої множини, розташованих по лінії стрільби, для найбільш ефективного відслідковування артилерійського пострілу, що дало можливість верифікації ланки точки зустрічі снаряда з поверхнею в ланцюгу станів життєвого циклу артилерійського пострілу на основі параболічної апроксимації характеристик траєкторії, по якій рухається снаряд, що забезпечило КІСУ гарматою сенсорною системою для компенсації випадкових збурень, які діють на снаряд при пострілі.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Демиденка Володимира Едуардовича є достатньо високим й базується на детальному аналізі літературних джерел за обраною проблемою, накопиченому на протязі багатьох років практичному досвіді по зменшенні часу виконання бойової роботи КІСУ практичними стрільбами гарматою при виникненні різних збурень засобом удосконалення імітаційної моделі пострілу і методів верифікації ланок ланцюга станів життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, які утворюють зворотний зв'язок, мети та задач дослідження, коректному використанні сучасних методів дослідження, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісному формулюванні отриманих висновків.

По-перше, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій доведено конкретними, застосованими методами дослідження.

Для проведення і обґрунтування дисертаційного дослідження були використані: енергетичний баланс для створення одновимірної моделі пострілу; визначення через бруто-формулу складу НЦП для виявлення сили порошу в залежності від його складу; метод бібліотеки для розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі дозволило обґрунтувати отримання 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-друге, ступінь обґрунтованості наукових положень доведено по сформульованим завданням, завдяки яким необхідно було:

- здійснити аналіз методів і способів верифікації ланок ланцюга станів «заряд – зарядна камера – ствол – траєкторія – ціль» життєвого циклу окремого артилерійського пострілу;

- провести пошук методу верифікації складу піротехнічної суміші методом бібліотеки на основі удосконалення моделі рівноважної термодеструкції за температурою суміші інертного та порохових газів;

- удосконалити методи і моделі автоматизованого керування бойовою роботою причіпних артилерійських установок у разі використання стохастичних процесів, на основі яких розробити моделі бойової роботи окремих самохідних артилерійських систем для забезпечення верифікації ефективного пострілу;

- розробити та дослідити моделі і методи пошуку трьох вимірювачів серед існуючої множини по лінії стрільби, які б забезпечили найбільш ефективну реєстрацію балістичної і дульної хвиль для побудови системи верифікації пострілів.

#### **По дисертаційній роботі є наступні зауваження:**

1. У першому розділі підпункт 1.3 сторінка 49, 50 описано метод реєстрації акустичних полів пострілу для локалізації значень початкової швидкості артилерійського снаряда, автор зазначив що під час другої фази експеримента для другої гармати падіння початкової швидкості снаряда сягає 9,96% і 9,91% для двох пострілів відповідно. Це значення практично в два рази перевищує нормативні показники що становить 5-6% для нарізних гармат після досягнення якого ствол повинен бути вибракованим. Автор не врахував що початкова швидкість снаряда є приведеним значенням за рахунок наявності періоду післядії порохових газів на артилерійський снаряд що покинув ствол, так звану проміжну балістику, цим пояснюється велике відхилення початкової швидкості снаряда від нормативного значення під час експерименту. Для отримання еталонних значень початкової швидкості снаряда в роботі доцільно було провести реєстрацію початкової швидкості снаряда класичним радіолокаційним методом.

2. У другому розділі у виразах (сторінки з 86 по 94) визначено математичну модель і методи розв'язання які, доводять можливість утворення сажі в порохових газах у процесі проведення верифікації НЦП. Вперше в основу моделі для газопо-

дібної та конденсованої фаз горіння як спосіб визначення поточної брутоформули артилерійського пороху використовують їх мольні частки, що утворюються в ємності фіксованого об'єму внаслідок зміни температури порохових газів, які утворились спалюванням порцій пороху змінної маси в інертній атмосфері. Але автор не зробив аналіз моделі на її замкнутість і стійкість розв'язку.

3. Для формування узагальненого критерію ефективності запропонованої чотирикомпонентної моделі керування бойовими діями окремої самохідної артилерійської системи без зміни вогневої позиції обрано згортку з відстанню від ідеальної точки в *шести*-вимірному просторі, а саме: поточної ефективності пострілу, коефіцієнту зниження точності стрільби, оцінювання залишкового боєкомплекту, стрільба в режимі MRSI, швидкострільності, залишкової маневреності. Для розрахунку узагальненого критерію було обрано різні ідеальні точки з яких було розраховано максимально можливі значення відповідного критерію. Необхідне пояснення чому обрано саме такий метод оцінювання.

4. У четвертому розділі наведено вирази з 4.24 по 4.26 які на практиці оцінюють надійність будь-якого сенсора. Але незрозуміло, як ці моделі впливають на вираз 4.27 критерій придатності  $J_i$  для кожного  $i$ -го сенсора? Дивись сторінку 161 роботи.

Наведені зауваження ніяким чином не знижують високий науковий рівень роботи та її наукову і практичну цінність.

#### **Рівень виконання поставленого наукового завдання.**

Високий рівень поставленого наукового завдання полягає в підвищенні ефективності та зменшення часу виконання бойової роботи КІСУ практичними стрільбами гарматою при виникненні різних збурень засобом удосконалення імітаційної моделі пострілу і методів верифікації ланок ланцюга станів життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, які утворюють зворотний зв'язок.

*Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.*

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях у повній мірі відображають основні результати дослідження. Результати наукових досліджень представлено в 10 друкованих працях у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України, а також 7 тезах міжнародних конференцій.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи мають достатній часовий інтервал. В них в повному обсязі відображені наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно Постанови КМУ №44 від 12.01.2022, із змінами, внесені згідно з Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024.

*Відсутністю порушення академічної доброчесності.*

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є публікації Демиденка Володимира Едуардовича в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того Демиденка Володимира Едуардовича дотримано вимоги академічної

добročесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism від 08.11.2024 року, що 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. Додатково об'єктивним елементом доказу відсутності порушення запозичення ідей інших авторів є Патенти України на винахід. В цілому при підготовці відгуку в тексті дисертації не було знайдено порушень академічної доброчесності.

*Значимістю отриманих результатів для практичного використання.*

На основі дисертаційного дослідження отримані моделі, способи і методи верифікації які дали можливість КІСУ гарматою впроваджувати для кожного пострілу ефективний життєвий цикл, якщо на ціль спрямовано заплановану дію згідно з прийнятим критерієм. На національному конкурсі МО ЗСУ «Кращий винахід 2023 року» у сухопутних і десантно-штурмових військах. Патент України на винахід № 127193, «Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею».

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджено в Національному університеті «Одеська політехніка» при підготовці за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» при викладанні наступних дисциплін: Автоматизація виробничих процесів; Моделювання процесів і систем; Сучасні системи керування; Оптимальні та адаптивні системи управління.

### **Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.**

Автор дисертаційної роботи Демиденко Володимир Едуардович на тему «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованій системі управління» оволодів методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що доведено отриманими науковими результатами, які викладені в науковій новизні. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв'язанні мети роботи узгоджуються з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», забезпечує розвиток науково-педагогічних компетентностей майбутніх докторів філософії для проведення власного наукового дослідження та захисту дисертації за спеціальністю, оволодіння методологією наукової і викладацької роботи у наукових і вищих навчальних закладах шляхом розвитку системного мислення і особистісного творчого потенціалу, з метою набуття здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

### **Висновок**

Все перелічене дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Демиденка Володимира Едуардовича «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованій системі управління» є закінченим самостійним науковим дослідженням, у якому отримані нові науково обґрунтовані результати в певній галузі науки, що в сукупності розв'язують важливу наукову задачу.

Науковий рівень дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача відповідають вимогам п.п. 5, 6, 7, 8 та 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, із змінами, внесеними відповідно до Постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 р., та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності розв'язують актуальну наукову задачу, яка полягає у підвищенні ефективності та зменшення часу виконання бойової роботи КІСУ практичними стрільбами гарматою при виникненні різних збурень засобом удосконалення імітаційної моделі пострілу і методів верифікації ланок ланцюга станів життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, які утворюють зворотний зв'язок.

Вважаю, що автор дисертації «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованій системі управління» Демиденко Володимир Едуардович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування».

### **Офіційний опонент**

Кандидат технічних наук, доцент,  
професор кафедри ракетно-артилерійського озброєння,  
докторант Національної академії сухопутних військ  
імені гетьмана Петра Сагайдачного

Семен БОНДАРЕНКО