

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
доцента Іванченка Олега Васильовича на дисертаційну роботу
Максимова Олексія Максимовича «Підвищення надійності
артилерійських систем в умовах динамічних збурень за рахунок удосконалення
інформаційного забезпечення АСК», подану на
здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність теми.

Позитивна динаміка розвитку сучасного суспільства суттєво залежить від рівня автоматизації соціально-економічних процесів та впровадження комп'ютерних технологій у різноманітні сфери діяльності. Особливо чітко ця залежність простежується під час створення та застосування за призначенням систем і технологій подвійного призначення. Не є виключенням відповідні артилерійські системи, які використовуються Збройними Силами України на полі бою для знищення ворожої російської піхоти та техніки.

Тому зазначене дисертаційне дослідження, необхідність якого обумовлена вирішенням завдання щодо забезпечення ефективного бойового застосування артилерійських систем в умовах динамічних збурень шляхом підвищення їхньої надійності та удосконалення інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування (АСК) є важливим та актуальним. Для досягнення результату у режимі автоматизованого керування здійснювалося моделювання процесів зношення та діагностики стволів артилерійських гармат. Водночас за рахунок реалізації розроблених автором алгоритмів змінювалися режими ведення вогню, що дозволило оптимізувати час виконання бойової задачі. Для мінімізації, тобто пошуку найкращого часу виконання бойової задачі, у поєднанні з процедурою автоматизованої верифікації пострілу було використано апарат стохастичного марківського моделювання. Встановлено, що саме ці дії забезпечують:

- 1) своєчасне коригування вогню;
- 2) суттєве зниження показників зношення стволів артилерійських систем;
- 3) підтримання необхідного рівня надійності автоматизованих систем керування артилерійськими підрозділами.

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

Актуальність теми дослідження підтверджується тісним зв'язком з планами, затвердженими Міністерством освіти і науки України. Дисертаційна робота виконана автором у Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетної НДР за темою «Підвищення ефективності АСУ спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», НДР № 224-47 (№ ДР 0122U200907), що забезпечує безперервний перехід від теоретичних результатів імітаційного моделювання та верифікації до їх практичного застосування в автоматизованому керуванні бойовою роботою артилерійських підрозділів.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

В роботі отримано наступні наукові результати, які відповідають меті проведеного дослідження:

1. Удосконалено імітаційні моделі оцінювання зношеності артилерійських стволів і зарядних камор за умов динамічних збурень, що, на відміну від відомих моделей, враховують акустичні та візуальні поля пострілів. Вперше для синхронізованого використання математичних моделей оцінки швидкості снаряда з урахуванням характеристик його балістичної хвилі та розширення порохових газів в атмосфері введено й запропоновано для використання інформаційну одиницю нового типу. Комплексне застосування зазначених чинників дозволяє підвищити ефективність ураження противника та забезпечує необхідний рівень оперативної готовності власних підрозділів.

2. Вперше запропоновано інтеграційний підхід, який дозволяє спільно використовувати марківські моделі з симуляційними методами для адаптації управління артилерійськими гарматами в умовах невизначеності, що дозволяє приймати рішення на основі моделювання ймовірнісних станів системи та прогнозування змін бойової обстановки. Використання цього підходу дозволило підвищити ефективність функціонування артилерійських систем за умов динамічних змін бойового середовища і надає можливість знизити ризики втрати боєздатності.

3. Вперше запропоновано методи моніторингу станів артилерійських гармат, які розроблено на основі верифікації процесів обробки акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів, що виникають під час пострілу. Впровадження зазначених методів дозволить підвищити боєздатність власних артилерійських підрозділів. Розроблені методи моделювання базуються на парадигмі Model-View-Controller, де артилерійська гармата або її математична модель утворює клас MarkovDecisionModel, а автоматизована система керування виконує функції контролера, що відображає, аналізує та здійснює адаптивне управління вогнем в умовах впливу різноманітних динамічних збурень.

Теоретичні здобутки та експериментальні результати дослідження наочно відображені в опублікованих джерелах інформації, а саме:

1. Dobrynin Y., Brunetkin O., Maksymov M., Maksymov O. Constructing a method for solving the Riccati equations to describe objects parameters in an analytical form. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, №4 (105). P. 20–26. (Scopus).

2. 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. (Scopus).

3. Brunetkin O., Maksymov M., Brunetkin V., Maksymov O., Dobrynin Y., Kuzmenko V., Gultsov P. Development of the model and the method for determining the influence of the temperature of gunpowder gases in the gun barrel for explaining visualize of free carbon at shot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4, №1(112). P. 41–53. (Scopus).

4. Dobrynin Ye., Boltenev V., Kuzmenko V., Maksymov O. Development of a universal binary classifier of the state of artillery barrels by the physical fields of shots. *Applied Aspects of Information Technology*. 2022. Vol. 5, №4. P. 289–302.

5. Maksymov M., Boltenev V., Gultsov P., Maksymov O. Verification of artillery fire under the influence of random disturbances for the computer game ARMA 3. *Applied Aspects of Information Technology*. 2023. Vol. 6, №4. P. 362–375.

6. Maksymova O., Boltenev V., Maksymov M., Gultsov P., Maksymov O. Development and optimization of simulation models and methods for controlling virtual

artillery units in game scenarios. Herald of Advanced Information Technology. 2023. Vol. 6, №4. P. 320–337.

7. Maksymova O., Boltyonkov V., Gultsov P., Maksymov O. Improvement of the model and method of artillery installation target damage control with minimal combat capability loss. Proceedings of Odessa Polytechnic University. 2023. Issue 2(68). P. 98–115.

8. Maksymov M., Gultsov P., Boltyonkov V., Maksymov O. Метод верифікації артилерійського вистрілу під час впливу випадкових збурень. Морська безпека. 2024. №1. С. 36–49.

9. 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.

10. Спосіб визначення зношення дула і зарядної камери артилерійської гармати: пат. України на винахід №126356; заявл. 13.08.2020; опубл. 21.09.2022, Бюл. №38.

11. Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею: пат. України на винахід №127193; заявл. 20.11.2020; опубл. 31.05.2023, Бюл. №22.

12. Спосіб визначення енергетичної ефективності артилерійської гармати: пат. України на винахід №128164; заявл. 05.04.2021; опубл. 24.04.2024, Бюл. №17.

13. Спосіб визначення кількості послідовного пуску ракет пусковою установкою для знищення морської цілі: пат. України на корисну модель №155594; заявл. 02.10.2023; опубл. 13.03.2024, Бюл. №11.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих Максимовим О. М. у дисертаційній роботі, є достатньо високою і спирається на аналіз відкритих джерел за обраною проблематикою, узгодженим розумінням мети, завдань дослідження й чітким формулюванням висновків.

Обґрунтованість наукових положень та висновків підтверджено:

– застосуванням у дослідженні інструментарію імітаційного моделювання, апарату математичного моделювання процесів зношення, діагностики та функціонування артилерійських стволів;

– активним використанням апарату моделювання марківських процесів; відповідних методів побудови стохастичних алгоритмів адаптивного керування в умовах невизначеності; методів теорії імовірностей і математичної статистики для оцінювання показників результативності бойової роботи; об'єктно-орієнтованого моделювання з розбудовою UML-діаграм; сукупності процедур для інтеграції математичних і керуючих моделей у замкнений цикл «постріл – моніторинг – оновлення – рішення».

– виконанням комплексного аналізу різноманітних факторів впливу на ефективність управління артилерійськими гарматами з боку протидіючих сил, що приводять до втрат боєздатності;

– створенням методів моніторингу інформаційно-технічних станів артилерійських гармат, які засновані на обробці акустичних сигналів та візуалізації процесів розширення порохових газів у навколишньому середовищі, що виникають під час пострілу та використовуються для верифікації процесу стрільби як засобу підвищення ефективності управління бойовою роботою.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

До зауважень та недоліків дисертаційної роботи варто віднести наступне:

1. Постановка задачі дисертаційного дослідження виконана у розгорнутому вигляді на належному науковому рівні та досить детально представлена у вербальній формі, але математичній формалізації завдання приділено недостатньо уваги. А саме, не сформульована система умов та обмежень, що негативно впливає на точність отриманих результатів моделювання.

2. Відомо, що надійність артилерійських систем у бойових умовах визначається їхньою здатністю виконувати задачі під впливом атмосферних коливань, вібрацій від пострілів, температурних перепадів та інших випадкових динамічних збурень. На стр. 34 дисертації зазначається, що «надійність забезпечується міцністю конструкції, якістю виготовлення, захистом від впливу докільця та контролем ресурсу ствола». З цього приводу виникають такі питання. За якими показниками визначають надійність та ефективність артилерійських систем в умовах динамічних збурень? Як за отриманими значеннями показників надійності робиться висновок щодо можливостей подальшої експлуатації артилерійської установки?

3. На стр. 64 автор зазначає, що «застосування імітаційного моделювання є оптимальним підходом для дослідження роботи артилерійських систем у складних динамічних ситуаціях». Це твердження є дещо спрощеним і не враховує всіх можливих обмежень та альтернатив.

4. Одне з завдань дисертаційної роботи полягає у розробці нових алгоритмів, які реалізують апарат моделювання марківських процесів (стр. 76). Проте, обґрунтування існування марківської властивості процесів, які досліджуються, у роботі розглянуто поверхнево, що ускладнює отримання адекватних результатів моделювання.

5. Потребує додаткових пояснень яким чином «застосування нової інформаційної одиниці ... надає можливість значно покращити точність діагностики та вчасно виявляти критичні рівні зношеності стволів» (стр. 99).

6. Не зрозуміло як здійснюється оптимізація ресурсу озброєння та «планується технічне обслуговування за фактичним станом» (стр. 99).

7. Необхідно з'ясувати який комплексний показник використовує автор дисертаційної роботи для визначення «вищого рівня оперативної готовності та надійності артилерійських підрозділів» (стр. 99). Наприклад, коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, ймовірність виконання завдання тощо.

8. Відомо, що для побудови марківської моделі необхідно дотримання наступних положень: 1) визначення станів моделі; 2) формування матриці перехідних ймовірностей; 3) кількісне визначення розподілу ймовірностей перебування у певних станах на початку процесу. В процесі розробки марківських моделей управління в умовах невідзначеності (підрозділ 3.2) автор дотримувався перших двох положень, але третє положення у дисертаційній роботі не відображено. Саме ця обставина створює певні труднощі у розумінні отриманих результатів імітаційного моделювання та їхньому аналізі.

9. Відомо, що зношення каналу ствола впливає на балістичні характеристики, особливо на початкову швидкість снаряду. На стр. 95, 96 роботи наведено емпіричну залежність (2.11) початкової швидкості від зносу ствола. Яким чином у моделі враховано корегування управлінням артилерійською системою під впливом зношеності каналу ствола для точності та ефективності стрільби?

10. Ймовірнісний характер бойових дій потребує моделей, що враховують випадковість переходів між станами. На стор. 110–112 наведено марківську модель бойової роботи. Яким чином у розробленому алгоритмічному забезпеченні використовуються

марківські процеси для моделювання невизначеності та динаміки бойових дій артилерії, і які переваги надає цей ймовірнісний підхід при виборі оптимальної стратегії стрільби й маневру?

11. Для адаптивного управління контролер артилерійської установки повинен не лише виконувати заданий алгоритм, а й безперервно оцінювати стан ствола та бойову обстановку, обираючи між продовженням вогню та маневром. На стр. 159 дисертації описано побудову такого адаптивного контролера. Необхідно додатково пояснити як в адаптивному контролері реалізовано марківське моделювання. Яким чином формалізовано задачу моделювання з урахуванням станів системи та переходів між ними під час виконання стрільб для підтримання надійності артилерійської установки в умовах невизначеності?

Зазначені зауваження не є принциповими, мають рекомендаційний характер та не знижують загальну позитивну оцінку роботи.

Рівень виконання поставленого наукового завдання.

Високий рівень виконання поставленого наукового завдання підтверджується результатами, які отримано у дисертаційній роботі Максимова Олексія Максимовича. Індивідуальність дисертаційного дослідження полягає у створенні науково-методичного апарату оптимізації часових характеристик виконання вогневого завдання артилерійською гарматою в умовах впливу тривалих динамічних збурень. В той же час, зазначена процедура реалізується шляхом застосування в АСК оціночних імітаційних моделей внутрішньобалістичних процесів та методів управління за інформаційно-технічними станами в умовах невизначеності, що забезпечують мінімізацію втрат боєздатності артилерійських підрозділів.

Повнота викладення наукових положень.

Наукові результати дисертації викладено у публікаціях, що у повному обсязі відображають основні здобутки роботи. Об'єм наукових напрацювань складає 17 друкованих праць, з них 8 – у фахових виданнях, 4 патенти України на винахід, а також тези 4-х доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Кількість і часовий інтервал публікацій за темою дисертації є достатніми; у них повно й послідовно висвітлено наукові положення роботи. Під час оприлюднення результатів дотримано вимог «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12.01.2022, із урахуванням змін, внесених 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.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

Об'єктивним підтвердженням дотримання академічної доброчесності Максимовим Олексієм Максимовичем є публікації у рецензованих виданнях із перевіркою на оригінальність, а також протокол перевірки системою StrikePlagiarism від 03.06.2025, опрацьований фахівцями кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій та членами групи забезпечення підготовки докторів філософії за ОНП спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». За результатами розгляду встановлено відповідність дисертаційної роботи нормам академічної доброчесності; при підготовці відгуку порушень не виявлено.

Значимість отриманих результатів для практичного використання.

На основі розроблених моделей, методів і алгоритмів сформовано підхід до бойового застосування, який забезпечує підвищення ймовірності ураження з першого пострілу з 45% до 78%, зменшення середньої витрати боєприпасів з 6,1 до 3,8 одиниць і скорочення часу знищення цілі зі 130 с до 85 с. Отримані показники демонструють реальний ресурсозберігаючий ефект і придатність запропонованих рішень для оперативного використання АСК артилерійськими підрозділами.

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

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Своєю роботою дисертант підтвердив здобуті при отриманні освітньої складової навички застосування методології наукової діяльності, що повністю корелює з вимогами ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Це підтверджується змістом та результатами дослідження, де послідовно застосовано: математичне моделювання процесів зношення та діагностики артилерійських стволів; марківські процеси для побудови стохастичних алгоритмів адаптивного управління; методи теорії імовірностей і математичної статистики для оцінювання ефективності бойових дій; об'єктно-орієнтоване моделювання (засобами UML) для створення інформаційних моделей, що відображають властивості об'єкту керування і відповідних процесів взаємодії в АСК. Обрана методика отримання наукових знань узгоджується з цілями освітньо-наукової програми, сприяє формуванню науково-педагогічних компетентностей майбутнього доктора філософії, розвитку системного мислення та творчого потенціалу і забезпечує спроможність вирішувати комплексні проблеми у галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Отримані у дисертації результати відповідають програмним предметним, фаховим та інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Висновок

Все наведене дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Максимова Олексія Максимовича «Підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень за рахунок удосконалення інформаційного забезпечення АСК» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові, належним чином обґрунтовані результати, що у сукупності розв'язують важливу наукову задачу.

Науковий рівень дисертації та публікацій здобувача відповідає 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, Постанови КМ України № 502 від 19.05.2023 та Постанови КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки наведені у роботі науково обґрунтовані результати у

сукупності вирішують актуальну наукову задачу підвищення надійності та ефективності функціонування автоматизованих систем керування артилерійських комплексів в умовах динамічних збурень шляхом удосконалення інформаційного забезпечення, імітаційного моделювання процесів зношення й діагностики стволів та інтеграції марківських моделей із симуляційними методами для адаптації управління в умовах невизначеності.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертаційного дослідження, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що автор дисертації «Підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень за рахунок удосконалення інформаційного забезпечення АСК» Максимов Олексій Максимович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем Національного технічного
університету «Дніпровська політехніка»



Олег ІВАНЧЕНКО