

ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента Бондаренка Семена Володимировича
на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача
Максимова Олексія Максимовича «Підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень за рахунок удосконалення інформаційного забезпечення АСК», представлену на здобуття наукового ступеня
доктора філософії за спеціальністю
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність теми.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню надійності автоматизованих систем керування артилерійськими системами за умов динамічних збурень за рахунок розробки та вдосконалення математичного й інформаційного забезпечення. Відомо, що навіть невеликі переміщення цілі й випадкові зміни балістичних параметрів призводять до невлучень у ціль, якщо не здійснювати оперативне корегування наведення. Для виконання бойових завдань сучасні артилерійські установки вже обладнують сенсорами дульної швидкості та системами контролю траєкторії, але відсутнє комплексне рішення, яке б забезпечило високу надійність за умов невизначеності зовнішніх збурень. Отже, тема дослідження має безперечну практичну актуальність, оскільки спрямована на підвищення бойової ефективності й збереження ресурсу гармат у сучасних умовах війни.

З теоретичної точки зору дослідження актуальне тим, що розширює наукові уявлення про методи моделювання та оптимізації процесів наведення за допомогою АСК. Запропоновані математичні моделі та алгоритми адаптивного керування можуть бути використані для розвитку теорії надійності та ефективності автоматизованих систем керування у складних і невизначених умовах.

Актуальність теми також підтверджується тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень згідно з планами, затвердженими Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» та є складником держбюджетної НДР за темою «Підвищення ефективності АСУ спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» (№ ДР 0122U200907, № 224-47).

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

Наукову новизну теоретичних та експериментальних результатів дослідження представлено публікаціями, 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). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205107>
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). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.220326>
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). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239150>
4. Dobrynin Ye., Boltenkov 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. (Категорія Б). <https://doi.org/10.15276/aait.05.2022.19>
5. Maksymov M., Boltenkov 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. (Категорія Б). <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.24>
6. Maksymova O., Boltenkov 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. (Категорія Б). <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.21>
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. (Категорія Б). <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.1>
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. (Категорія Б). <https://doi.org/10.32782/msd/2024.1/05>
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. (Категорія Б). <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/312873>
10. Спосіб визначення зношення дула і зарядної камори артилерійської гармати: пат. України на винахід №126356; заявл. 13.08.2020; опубл. 21.09.2022,

Бюл. №38. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1706588>

11. Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею: пат. України на винахід №127193; заявл. 20.11.2020; опубл. 31.05.2023, Бюл. №22. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1739129>

12. Спосіб визначення енергетичної ефективності артилерійської гармати: пат. України на винахід №128164; заявл. 05.04.2021; опубл. 24.04.2024, Бюл. №17. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1796619>

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. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1788150>

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

1. Удосконаленому комплексу імітаційних математичних моделей, що враховує акустичні та візуальні поля пострілів для оцінювання зношеності артилерійських стволів і зарядних камор за умов динамічних збурень. Вперше запропоновано використання нового типу інформаційної одиниці для синхронізації моделей швидкості снаряда за балістичною хвилею та розширення порохових газів в атмосфері. Це дозволяє вдосконалити алгоритмічне та інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління артилерійськими комплексами на основі об'єктно-орієнтованого аналізу, що забезпечує підвищення ефективності ураження при заданому рівні оперативної готовності.

2. Вперше запропонованій інтеграції марківських моделей з симуляційними методами для адаптації управління артилерійськими гарматами за умов невизначеності, що дозволяє приймати рішення на основі моделювання ймовірнісних станів системи та прогнозування змін бойової обстановки. Це стало можливим завдяки застосуванню об'єктно-орієнтованого підходу, який дозволяє сформулювати вимоги щодо об'єктів управління, що інтегрують як зміну їхніх властивостей у процесі адаптації, так і станів, які визначають динамічні параметри системи, з якими взаємодіє АСК. Такий підхід дозволяє вдосконалити імітаційне моделювання процесів управління, що підвищує ефективність функціонування артилерійських систем за умов динамічних змін бойового середовища і зменшує ризики втрати боєздатності, водночас підвищуючи рівень оперативної готовності.

3. Вперше запропонованому методу моніторингу станів артилерійських гармат, який заснований на обробці акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів, що виникають під час пострілу для оперативної верифікації процесу стрільби як засобу підвищення боєздатності і оперативної готовності до бойової роботи. Методи моделювання базуються на парадигмі Model-View-Controller, де артилерійська гармата або її математична модель виступає в ролі Model, а АСУ виконує функції Controller, для аналізу та адаптації бойових проце-

сів за умов динамічних збурень, які моделюють реальні елементи системи та методи взаємодії, забезпечуючи підвищення ефективності артилерійських систем за рахунок адаптивного управління на основі оперативного контролю та аналізу фізичних параметрів пострілу, що сприяє підвищенню надійності бойової роботи та оперативної готовності.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Максимова Олексія Максимовича, є достатньо високим й базується на детальному аналізі літературних джерел за обраною проблемою, накопиченому на протязі кількох років досвіді підвищення надійності артилерійських систем за умов динамічних збурень за рахунок розробки та вдосконалення алгоритмічного й інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування, удосконалення імітаційних моделей процесів зношення, діагностики та ефективності функціонування артилерійських стволів, а також адаптації управління бойовою роботою підрозділів на основі марківських моделей та симуляційних методів.

Обґрунтованість підтверджується коректним використанням сучасних методів дослідження, порівнянням і критичним аналізом отриманих результатів з результатами інших дослідників, а також якісним формулюванням висновків, що узгоджуються з метою та завданнями роботи.

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

Для проведення і обґрунтування дисертаційного дослідження були використані: методи математичного моделювання для створення комплексних імітаційних моделей зношення стволів і зарядних камор з урахуванням акустичних і візуальних полів пострілу; марківські процеси для розробки адаптивних алгоритмів управління артилерійськими комплексами в умовах невизначеності; методи теорії ймовірностей і математичної статистики для оцінювання ефективності роботи артилерійських підрозділів; об'єктно-орієнтоване моделювання на основі UML-діаграм для формування інформаційних моделей станів та властивостей об'єкта управління; методи обробки акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів під час пострілу для оперативної верифікації; методи регресивного аналізу та обчислювальні методи лінійної алгебри для верифікації параметрів стану життєвого циклу пострілу.

По-друге, ступінь обґрунтованості наукових положень підтверджено по сформульованим завданням, завдяки яким необхідно було:

- здійснити комплексний аналіз впливу управлінських факторів та зовні-

шніх збурень на артилерійські системи для визначення показників, що характеризують втрату боєздатності, та розробити автоматизовану систему контролю бойового стану;

- удосконалити імітаційні моделі зношеності артилерійських стволів і зарядних камор з урахуванням акустичних і візуальних полів пострілу для підвищення точності діагностики;

- розробити алгоритмічне та інформаційне забезпечення для підтримання заданого рівня надійності АСК в умовах динамічних змін бойової ситуації на основі інтеграції марківських моделей із симуляційними методами;

- створити методи моніторингу станів гармат на основі аналізу акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів як засобу підвищення ефективності управління бойовою роботою.

По дисертаційній роботі є наступні питання:

1. Сучасні системи керування вогнем інтегрують математичне прогнозування, адаптивні та робастні методи, а також елементи штучного інтелекту. На стор. 50 розглянуто різні класи алгоритмів із порівнянням їхніх сильних і слабких сторін у контексті управління артилерійськими системами. Які алгоритми управління артилерійськими установками розглядаються у роботі, та які їхні переваги і недоліки з точки зору ефективності й надійності?

2. Моделювання деградації ствола потребує врахування внутрішньо-балістичних процесів, акустичних і оптичних ефектів та механіки зношення. На стор. 78 та 94–95 дисертації запропоновано модульну комплексну імітаційну модель, яка поєднує моделі внутрішньої балістики, зношення каналу, акустичної й оптичної сигнатури пострілу, завдяки чому система управління може генерувати віртуальні сенсорні дані для оцінювання стану ствола. Який метод використовувався при створенні комплексної імітаційної моделі зношення артилерійського ствола, і яким чином вона інтегрує моделі внутрішньої балістики, зношення каналу ствола, акустичних і візуальних ефектів пострілу для утворення інформаційного забезпечення системи керування?

3. Ефективне адаптивне управління потребує узгодження моделі прийняття рішень із симуляцією бою. На стор. 126 дисертаційної роботи представлено інтеграцію Марківських моделей із симуляційними методами через об'єкти типу InformationUnit. У чому полягає інтеграція Марківських моделей з імітаційними методами у запропонованій системі адаптивного управління, та як інформаційне забезпечення узгоджує роботу моделі управління зі симуляцією бойової обстановки через використання інформаційних одиниць?

4. Оцінювання технічного стану ствола реалізується через об'єктно-орієнтовану модель, яка характеризує стани зношення. На стор. 149

представлено модель стану артилерійської гармати. Яким чином застосовано об'єктно-орієнтований підхід для моделювання станів ствола, які класи та алгоритми при цьому використовуються, і як ця модель відображає сутність процесу зношення?

Наведені зауваження не знижують загального високого наукового рівня роботи та її практичної цінності.

Рівень виконання поставленого наукового завдання.

Робота вирішує складну науково-прикладну задачу – підвищення надійності та ефективності артилерійських систем за умов динамічних збурень. Автор повністю виконав поставлені завдання: проаналізував сучасні методи управління, розробив нові моделі й алгоритми, провів імітаційні експерименти та показав значущість результатів. Рівень виконання можна оцінити як високий.

Повнотою викладення результатів досліджень у наукових публікаціях за темою дисертації.

Основні результати дисертації оприлюднено у 17 наукових працях, серед яких статті у виданнях, індексованих у Scopus та категорії Б, а також патенти України на винахід. Ці публікації відображають всі складові роботи та свідчать про високий науковий рівень апробації результатів.

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, внесеними 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 Максимова Олексія Максимовича в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того, Максимовим Олексієм Максимовичем дотримано вимоги академічної доброчесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism від 03.06.2025 року, опрацьованим 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 запозичення ідей інших авторів є Патенти України на винахід. В цілому, при підготовці відгуку, у тексті дисертації не було знайдено порушень академічної доброчесності.

Значимістю отриманих результатів для практичного використання.

Запропоновані моделі та алгоритми дозволяють підвищити ймовірність ураження цілі, зменшити витрати боєприпасів і забезпечити своєчасну заміну зношених стволів. Імітаційні експерименти показали, що впровадження розробленої системи керування підвищує узагальнений показник ефективності стрільби на 60 %. Такі результати є значущими для бойової підготовки та можуть бути впроваджені в сучасні автоматизовані системи управління артилерією. На національному конкурсі МО ЗСУ «Кращий винахід 2023 року» (категорія сухопутних і десантно-штурмових військ) було представлено Патент України № 127193 «Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею».

Практичні результати дисертації інтегровано в освітній процес Національного університету «Одеська політехніка» за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Інституту штучного інтелекту та робототехніки на кафедрі програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій при викладанні дисциплін: «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування», «Оптимальні та адаптивні системи управління».

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Автор дисертаційної роботи Максимов Олексій Максимович на тему «Підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень за рахунок удосконалення інформаційного забезпечення АСК» оволодів методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування», що підтверджується характером отриманих результатів і спрямованістю роботи на здобуття ступеня доктора філософії. Застосована методологія наукового пізнання, покладена в основу досягнення мети дослідження, узгоджується з цілями освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 і забезпечує розвиток науково-педагогічних компетентностей здобувача для проведення власного 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», що кореспондує із заявленою у роботі проблематикою підвищення надійності АСК за умов динамічних збурень засобом імітаційного моделювання, діагностики та інформаційного забезпечення.

Висновок

Узагальнення наведених результатів 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 межах якого отримано нові, науково обґрунтовані результати, що в 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», затвердженого Постановою КМ України № 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 р. та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024. Це зумовлено тим, що подані науково обґрунтовані результати у своїй сукупності вирішують актуальну наукову задачу — підвищення надійності та ефективності функціонування автоматизованих систем керування артилерійських комплексів в умовах динамічних збурень шляхом удосконалення інформаційного забезпечення, застосування імітаційного моделювання процесів зношення та діагностики стволів, а також інтеграції марківських моделей із симуляційними методами для адаптації управління за умов невизначеності.

Вважаю за доцільне присудження здобувачеві — Максимову Олексію Максимовичу — 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 (м. Львів)

Семен БОНДАРЕНКО