

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації Максимова Олексія Максимовича на тему
«Підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних
збурень за рахунок удосконалення інформаційного забезпечення АСК»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології», в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування**

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність цієї роботи полягає в необхідності створення комплексного математичного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування артилерією на основі сучасних методів моніторингу, Марківських моделей та імітаційного моделювання. Реалізація запропонованого підходу дозволить суттєво підвищити надійність і живучість артилерійських систем у складних умовах сучасного бою, відповідаючи нагальним запитам військової практики і тенденціям розвитку оборонних технологій.

2. Мета дисертаційного дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень шляхом розробки та вдосконалення алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування за рахунок імітаційного моделювання процесів зносу, діагностики та ефективності функціонування артилерійських систем на основі об'єктно-орієнтованих методів.

Для досягнення вказаної мети дослідження в дисертаційній роботі було поставлено та розв'язано наступні задачі:

– здійснено комплексний аналіз впливу керуючих факторів на артилерійські гармати з боку протидіючих сил для ідентифікації основних показників, що характеризують втрату боєздатності, та розроблено автоматизовану систему контролю бойового стану;

– удосконалено імітаційні моделі зносу артилерійських стволів і зарядних камор, враховуючи акустичні та візуальні поля, що утворюються при пострілі, для забезпечення діагностики їх стану по миттєвій швидкості снаряда який виходить з каналу стволу і об'єму порохових газів, що утворюються при пострілі;

– розроблено алгоритмічне та інформаційне забезпечення для дотримання заданого рівня надійності АСК при виконанні бойових завдань артилерійськими підрозділами в умовах динамічних змін бойової ситуації на основі Марківських моделей та симуляційних методів для адаптації управління в умовах невизначеності на основі об'єктно-орієнтованих методів;

– створено методи моніторингу станів артилерійських гармат, які засновані на обробці акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів в оточуючому середовищі, що виникають під час пострілу, для оперативної верифікації процесу стрільби, як методу підвищення ефективності управління бойовою роботою.

Об'єктом досліджень є імітаційні моделі артилерійських систем, що працюють в умовах динамічних збурень, як об'єктів керування.

Предметом досліджень є інформаційні моделі та методи підвищення надійності артилерійських систем шляхом вдосконалення автоматизованих систем керування, які базуються на математичному моделюванні зносу, діагностики та ефективності функціонування.

3. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, науковими напрямами Університету та кафедри

Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетної НДР за темою «Підвищення ефективності АСК спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» НДР № 224-47 (№ ДР 0122U200907).

4. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Наукові результати, викладені в дисертації, одержані автором самостійно. Автору належать основні ідеї щодо підвищення надійності артилерійських систем на основі розробки та вдосконалення алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування в умовах динамічних збурень.

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Ґрунтується на реалізації поставлених завдань. Для цього було використано: методи математичного моделювання для аналізу процесів зносу артилерійських систем; Марківські процеси для побудови оптимальних (стохастичних) алгоритмів керування артилерійськими комплексами; методи теорії ймовірностей та статистичні методи для оцінки ефективності роботи артилерійських підрозділів; об'єктно-орієнтоване моделювання на основі UML-діаграм для створення інформаційних моделей властивостей об'єкта курування при зміні керування при взаємодії.

6. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

В дисертації отримані особисто здобувачем наступні наукові результати і положення:

1. Удосконалено комплекс імітаційних математичних моделей, що враховує акустичні та візуальні поля пострілів для оцінки зносу артилерійських стволів і зарядних камор в умовах динамічних збурень. Вперше запропоновано використання нового типу інформаційної одиниці для синхронізації моделей швидкості снаряда по балістичній хвилі та розширення порохових газів в атмосфері. Це дозволяє вдосконалити алгоритмічне та інформаційне забезпечення автоматизованих систем керування артилерійськими комплексами на основі об'єктно-орієнтованого аналізу, що забезпечує підвищення ефективності ураження при заданому рівні оперативної готовності.

2. Вперше запропоновано інтеграцію Марківських моделей 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. Це стало можливим завдяки застосуванню об'єктно-орієнтованого підходу, який дозволяє організувати вимоги навколо об'єктів управління, що інтегрують як зміну їхніх властивостей у процесі адаптації, так і станів, які визначають динамічні параметри системи, з якими взаємодіє АСК, що дозволяє вдосконалити імітаційне моделювання процесів управління, що підвищує ефективність функціонування артилерійських систем в умовах динамічних змін бойового середовища, зменшуючи ризики втрати боєздатності та підвищуючи рівень оперативної готовності.

3. Вперше запропоновано методи моніторингу станів артилерійських гармат, які засновані на обробці акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів, що виникають під час пострілу, для оперативної верифікації процесу стрільби як методу підвищення боєздатності і оперативної готовності бойової роботи. Методи моделювання базуються на парадигмі Model-View-Controller, де артилерійська гармата або її математична модель виступає в ролі Model, а АСК виконує функції Controller, для аналізу та адаптації бойових процесів в умовах динамічних збурень, що моделюють реальні елементи системи та методи взаємодії, що забезпечує підвищення ефективності функціонування артилерійських систем за рахунок адаптивного управління на основі оперативного контролю та аналізу фізичних параметрів пострілу, що сприяє підвищенню надійності бойової роботи та оперативної готовності.

7. Наукове та практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Запропоновані у дисертаційній роботі моделі, методи і алгоритми дозволили суттєво підвищити ефективність артилерійських систем завдяки адаптивному керуванню, яке базується на Марківських моделях. Встановлено, що впровадження

адаптивного контролера забезпечує значне зростання ймовірності ураження цілі з першого залпу (від 45% до 78%), що істотно підвищує результативність початкового вогневого нальоту. Завдяки адаптивному підходу, середня витрата снарядів зменшується з 6,1 до 3,8 одиниць, а час, необхідний для знищення цілі, скорочується з 130 с до 85 с. Це дозволяє значно знизити витрати ресурсів та оперативно виконувати бойові завдання.

Основні положення дисертаційного дослідження впроваджено:

– у рамках національного конкурсу Міністерства оборони Збройних Сил України «Кращий винахід 2023 року» у Сухопутних військах та Десантно-штурмових військах, що підтверджено патентом України на винахід № 127193 «Спосіб визначення координати зустрічі артилерійського снаряда з поверхнею». Автори: Максимов М. В., Болтъонков В. О., Добринін Є. В., Максимов О. М., Петрушенко М. М., Демиденко В. Е., Плешко Е. А., Гульцов П. С.;

– при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки (ІШІР) на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» при викладанні наступних дисциплін: «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування» і «Оптимальні та адаптивні системи управління».

8. Повнота опублікування результатів дисертаційного дослідження та особистий внесок здобувачки до всіх наукових публікацій, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації

Результати наукових досягнень викладено в 17 друкованих працях, зокрема 13 у спеціалізованих наукових виданнях (3 публікації індексуються у міжнародній науково-метричній базі SCOPUS, 4 патенти України на винахід), 4 доповідей і тез на міжнародних конференціях.

У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать:

В [3, 10, 12, 14] – комплекс імітаційних математичних моделей зносу артилерійських стволів та зарядних камор, який вперше враховує синхронізовані

акустичні та візуальні фактори пострілу, зокрема розроблено математичну модель впливу температурних параметрів на порохові гази у стволі артилерійської системи, а також досліджено процес розширення порохових газів та формування вільного вуглецю. Це дозволило запропонувати новий тип інформаційної одиниці для синхронізації моделей швидкості снаряда за балістичною хвилею та процесів розширення газів, що істотно підвищує точність діагностики і визначення зносу артилерійських стволів та зарядних камор.

В [1, 2, 6, 7, 9, 13, 15, 16] – інтеграція Марківських моделей із симуляційними методами управління артилерійськими системами, що дозволило вперше адаптувати управління на основі ймовірнісних моделей станів системи та прогнозування бойової обстановки. Здобувачем було розроблено та оптимізовано симуляційні моделі управління віртуальними артилерійськими підрозділами для комп'ютерних ігрових сценаріїв, а також запропоновано та реалізовано підхід до моделювання артилерійських операцій на базі Марківських процесів, що підвищує ефективність функціонування та оперативну готовність артилерійських підрозділів в умовах невизначеності й динамічних збурень.

В [4, 5, 8, 11, 17] – методи оперативного моніторингу технічного стану артилерійських гармат на основі обробки акустичних сигналів та візуалізації розширення порохових газів під час пострілу, вперше застосовані для верифікації артилерійського вогню. Здобувачем було розроблено універсальний бінарний класифікатор для оцінки зносу стволів на основі акустичних та відеоданих, метод визначення координат влучання артилерійського снаряда шляхом реєстрації акустичних полів пострілу, а також запропоновано та реалізовано підхід до покращення симуляції артилерійського вогню із використанням сучасних методів верифікації. Це дозволило значно підвищити ефективність керування бойовою роботою, забезпечити високий рівень боєздатності і надійності артилерійських систем.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертації:

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. Tom 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. Tom 4 № 1(112). P. 41–53. (Scopus), <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239150>

4. Dobrynin Ye.V., Boltenev V.O., Kuzmenko V.V., Maksymov O.M. 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. <https://doi.org/10.15276/aait.05.2022.19> (категорія Б)

5. Maksymov M. V, Boltenev V. O., Gultsov P. S., Maksymov O. M. “Verification of artillery fire under the influence of random disturbances for the computer game ARMA 3”. *Applied Aspects of Information Technology*. 2023. Vol.6 No.4: P. 362–375. <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.24> (категорія Б)

6. Maksymova O.B., Boltenev V.O., Maksymov M. V., Gultsov P.S. Maksymov O.M. Development and Optimization of Simulation Models and Methods for Controlling Virtual Artillery Units in Game Scenarios. *Herald of Advanced Information Technology*. 2023. Vol.6. No.4. p. 320–337. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.21>. (категорія Б)

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*. Issue 2(68). Dec. 2023. P. 98–115. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.1>(категорія Б)

8. Максимов М.В., Гульцов П.С., Болтънков В.О., & Максимов О.М. Метод верифікації артилерійського вистрілу під час впливу випадкових збурень. *Морська безпека*. 2024, №1. С. 36-49. <https://doi.org/10.32782/msd/2024.1/05> (категорія Б)

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. <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/312873> (категорія Б)

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 зустрічі артилерійського снаряда з поверхнею: пат. України на винахід № 127193; заявл. 20.11.20 ; 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. 05.04.21; опубл. 24.04.24, 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 праці апробаційного характеру:

14. Tarakhtiy O. S., Gultsov P. S., Maksimov O. M. Modeling the formation of muzzle blast as a diagnostic sign of the state of the shot. *Science and society: modern trends in a changing world*: Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Vienna, Austria. 2024. P. 21-27. <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-society-modern-trends-in-a-changing-world-22-24-01-2024-viden-avstriya-arhiv>

15. Тарахтій О. С., Гульцов П. С., Максимов О. М. Удосконалення моделі керування бойовою здатністю артилерійської гармати. *Topical aspects of modern scientific research: proceedings of the 5th International scientific and practical conference*. CPN Publishing Group. Tokyo, Japan. 2024. P. 256-261. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-topical-aspects-of-modern-scientific-research-25-27-01-2024-tokio-yaponiya-arhiv>

16. Тарахтій О.С., Гульцов П. С., Максимов О. М. Удосконалення методу керування бойовою здатністю артилерійської гармати. *European congress of scientific achievements: proceedings of the 1st International scientific and practical conference*. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2024. P. 120-125. <https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-european-congress-of-scientific-achievements-29-31-01-2024-barselona-ispaniya-arhiv>

17. Тарахтій О. С., Гульцов П. С., Максимов О. М. Метод параболічної апроксимації визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею. *Modern problems of science, education and society: proceedings of the 12th International scientific and practical conference*. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2024. P. 21-27. <https://sci-conf.com.ua/xii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-problems-of-science-education-and-society-5-7-02-2024-kiyiv-ukrayina-arhiv>

9. Апробація результатів дисертаційної роботи

Отримані у дисертаційному дослідженні результати, ідентифіковані як науково обґрунтовані положення, були представлені, обговорені та схвалені на наступних наукових форумах. V Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні аспекти сучасних наукових досліджень» (25–27 січня 2024 р.). Видавництво CPN Publishing Group, Токіо, Японія. I Міжнародна науково-практична конференція «Європейський конгрес наукових досягнень» (29–31 січня 2024 р.). Видавництво Barca Academy Publishing, Барселона, Іспанія. II Міжнародна науково-практична конференція «Наука і суспільство: сучасні тенденції у змінному світі» (22–24 січня 2024 р.). Видавництво MDPC Publishing, Відень, Австрія. XII

Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми науки, освіти і суспільства» (5–7 лютого 2024 р.). SPC, Київ, Україна.

10. Відповідність дисертаційної роботи вимогам, що передбачено пунктами 6 і 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії»

Науковий рівень та повнота дисертаційної роботи відповідають вимогам МОН України щодо дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня доктора філософії затверджених Постановою КМ України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами внесеними згідно з Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022 р., та Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 р., оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності вирішують актуальну наукову задачу, яка полягала у підвищенні надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень шляхом розробки та вдосконалення алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування за рахунок імітаційного моделювання процесів зносу, діагностики та ефективності функціонування артилерійських систем на основі об'єктно-орієнтованих методів.

Представлена робота є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати у галузі 15 Автоматизація та приладобудування, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність та які підтверджуються відповідними документами. Використання в даній роботі наукових текстів, ідей, розробок, наукових результатів і матеріалів інших авторів супроводжується обов'язковим посиланням на автора та/або на джерело опублікування. Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затверджених

Наказом МОН України від 12.01.2017 № 40 зі змінами внесеними згідно з наказом МОН України № 759 від 31.05.2019 р.

В цілому, дисертаційна робота є *завершеною науковою працею*, що відповідає вимогам спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним, методичним та практичним значення, обґрунтованістю одержаних результатів та оформленням, дисертаційна робота Максимова Олексія Максимовича відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України, зокрема, п. п. 6 і 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», та може бути рекомендована до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Головуючий на засіданні

к.т.н., доцент кафедри програмних і
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Костянтин БЕГЛОВ