

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента Климчука Олександра Андрійовича
на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача

Максимова Олексія Михайловича

«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»

Новизни представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження

Наукова новизна теоретичних та експериментальних результатів дослідження викладена у низці публікацій автора, серед яких:

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., 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.

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.

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.

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 камори 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.

Наукові результати, які опубліковані у відкритих джерелах відповідають всім науковим результатам, які представлено в роботі в якості наукової новизни, до яких слід віднести наступне.

Удосконалено комплекс 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.

Вперше запропоновано інтеграцію 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.

Вперше обґрунтовано та реалізовано методи моніторингу станів артилерійських гармат, що спираються на обробку акустичних сигналів і візуалізацію розширення порохових газів, які виникають під час пострілу, з метою оператив-

ної верифікації процесу стрільби як інструменту підвищення боєздатності та оперативної готовності. Запропоноване моделювання побудовано за парадигмою Model–View–Controller: артилерійська гармата або її математична модель виконує роль Model, а АСУ — функції Controller для аналізу й адаптації бойових процесів за умов динамічних збурень; це відтворює реальні елементи системи та їхню взаємодію і забезпечує зростання ефективності за рахунок адаптивного управління на основі оперативного контролю й аналізу фізичних параметрів пострілу, що, своєю чергою, підвищує надійність бойової роботи та рівень готовності.

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

Максимов О.М. обґрунтував у дисертаційній роботі наукові положення, висновки і рекомендації завдяки детальному аналізу первинних джерел за темою роботи. Отримані патенти підтверджують високий рівень розробки та вдосконалення алгоритмічного й інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування артилерійськими комплексами в умовах динамічних збурень. Мету та задачі дослідження висвітлено в достатньо великій кількості публікацій в журналах, які входять до НМБД Scopus. Запропонований матеріал дисертації базується на коректному використанні сучасних методів, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з даними інших дослідників, а також якісному формулюванні висновків.

По-перше, здобуті результати відповідають цілям і вимогам ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тема та мета роботи узгоджуються з призначенням програми: розвитком науково-педагогічних компетентностей здобувача для самостійного проведення досліджень у сфері автоматизованого керування складними технічними системами, формуванням здатності розв'язувати комплексні міждисциплінарні задачі у галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», включно з проектуванням адаптивних і робастних методів керування, побудовою інформаційних моделей і впровадженням симуляційних та Марківських підходів для підвищення надійності та ефективності функціонування артилерійських систем.

По-друге, застосовані методи наукового дослідження ґрунтуються на використанні Марківських процесів для побудови стохастичних алгоритмів управління бойовою роботою; математичного моделювання процесів зношення стволів з урахуванням фізичних полів пострілу; методів теорії ймовірностей і математичної статистики для пошуку найкращого рішення; методів об'єктно-орієнтованого аналізу для розробки інформаційних моделей властивостей об'єкта керування та його взаємодій в АСК; а також імітаційного моделювання пострілів на основі обробки акустичних сигналів і спостереження за розширенням порохових газів. Отримані теоретичні положення підкріплено комп'ютерними експериментами, що демонструють здатність системи підтримувати задані показники надійності й оперативної готовності.

Наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

СК1. Здатність проводити моделювання об'єктів та систем керування.

СК2. Здатність проводити оцінку якості функціонування автоматизованих систем керування.

СК3. Знання та глибоке розуміння предметної області, розуміння професійної та наукової діяльності.

СК4. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з автоматизації, комп'ютерних технологій, приладобудування та суміжних галузей.

СК5. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи дослідження, синтезу, проектування систем автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій, їх програмних та апаратних компонентів, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК7. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті, дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК8. Здатність розробляти, впроваджувати і супроводжувати проекти з урахуванням всіх аспектів проблеми, яка вирішується, включаючи проектування, виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію теплоенергетичного обладнання.

СК9. Володіти знаннями щодо принципів, методів та способів зі створення алгоритмів та програмного забезпечення для приладів автоматизованих систем.

СК10. Володіння методами та підходами до параметричного та структурного управління обладнанням в теплоенергетичних установках.

СК11. Здатність проводити ідентифікацію та контроль параметрів об'єктів керування.

СК12. Здатність розробляти регулятори і алгоритми програмного та слідкуючого керування рухом для електромеханічних систем автоматизації.

СК13. Здатність моделювати та досліджувати за допомогою сучасних програмних та апаратних засобів процеси в електромеханічних системах автоматизації.

СК14. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електромеханічних об'єктів та систем керування.

СК15. Володіння методами розробки, діагностування та забезпечення надійності електромеханічних систем автоматизації.

СК16. Здатність проектувати різноманітні вироби, автоматизовані системи та технологічні процеси з використанням засобів автоматизації проектування та досвіду розробки конкурентоспроможних виробів

СК17. Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань проектування.

СК18. Здатність застосовувати, інтегрувати та аналізувати знання і розуміння з інших інженерних дисциплін.

СК19. Здатність проводити алгоритмізацію завдань проектування та розробляти програми та програмні додатки для виконання завдань автоматизованого проектування з застосуванням сучасних мов програмування.

СК20. Здатність розробляти інформаційне та програмне забезпечення автоматизованих систем керування та проектування.

СК21. Розуміння теоретичних засад, які лежать в основі методів досліджень комп'ютерних технологій та інформаційних систем.

СК22. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

СК23. Системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір.

По-третє, ступінь обґрунтованості наукових положень доведено по сформульованим завданням дисертаційного дослідження завдяки яким необхідно було:

- здійснити комплексний аналіз впливу управлінських факторів на артилерійські гармати з боку протидіючих сил для ідентифікації основних показників, що характеризують втрату боєздатності, та розробити автоматизовану систему контролю бойового стану;

- удосконалити імітаційні моделі зношеності артилерійських стволів і зарядних камер з урахуванням акустичних та візуальних полів, що утворюються під час пострілу, для забезпечення діагностики їх стану за поточною швидкістю снаряда, який виходить з каналу ствола, і об'ємом порохових газів, що супроводжують постріл;

- розробити алгоритмічне та інформаційне забезпечення для дотримання заданого рівня надійності АСК під час виконання бойових завдань артилерійськими підрозділами за умов динамічних змін бойової ситуації на основі Марківських моделей та симуляційних методів з метою адаптації управління до обставин невизначеності на основі об'єктно-орієнтованих методів;

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

Зауваження до змісту дисертації.

1. Підтримання боєздатності гармати потребує точного контролю її ресурсу, тому сучасні системи орієнтуються на безконтактні методи діагностики. На стор. 36 визначено сучасні підходи до діагностики стволів – ультразвуковий контроль, лазерна профілометрія та цифрова кореляція зображень – і показано їх переваги над традиційним візуальним оглядом. В чому полягають їхні переваги над традиційними підходами з точки зору точності контролю та підвищення надійності артилерійських систем?

2. Автоматизована система керування потребує структурованого представлення інформаційної моделі гармати в станах її існування. На стор. 94–95 запропоновано об'єктно-орієнтовану інформаційну модель артилерійської системи, що включає наступні класи `ArtilleryGun`, `Barrel`, `Ammunition`, `InformationUnit` та `WearAnalyzer`. Як ця модель забезпечує інтеграцію даних про зношеність ствола в автоматизовану систему керування?

3. Програмна реалізація адаптивного контролера ґрунтується на модульності та інкапсуляції. На стор. 134 дисертації представлено структуру класів `Battlefield`, `ArtilleryUnit`, `EnemyUnit`, `Environment` та `MissionController`. Кожний модуль представляє власні дані, а `MissionController` координує взаємодію з `MarkovDecisionModel` для вибору оптимальних дій. Яку роль відіграють об'єктно-орієнтовані принципи проектування у підвищенні ефективності та надійності системи керування?

4. Адаптивність системи керування забезпечується замкненим циклом «постріл – моніторинг – оновлення – рішення». На стор. 163 дисертації розглянуто, як поточні дані від сенсорів та результатів моделювання використовуються для оновлення моделей стану, зміни ймовірностей у Марківській моделі та автоматичного вибору наступної дії. У чому полягає адаптивність запропонованої системи керування та як забезпечується зворотний зв'язок на основі результатів моніторингу?

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Високий рівень розв'язання поставленої наукової проблеми у дисертаційній роботі Максимова Олексія Максимовича полягає у системному створенні та вдосконаленні імітаційних, інформаційних і алгоритмічних моделей для автоматизованих систем керування артилерійськими комплексами за умов тривалих динамічних збурень. Запропоновано підхід, що поєднує моделювання зношення й діагностики стволів і зарядних камер з урахуванням акустичних та візуальних полів пострілу, а також адаптивні (стохастичні) алгоритми керування на базі марківських процесів для підтримання заданого рівня надійності та мінімізації втрати боєздатності підрозділу.

Повнота отриманих наукових результатів дисертації у повній мірі у 17 пу-

блікаціях, з них 8 – у спеціалізованих наукових виданнях, 4 – доповіді і тези доповідей на міжнародних конференціях, 4 – патенти України на винахід. Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий інтервал, на якому вони публікувалися, достатньо великі. В них повно 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.

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є публікації Максимові О.М. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того Максимовим О.М. дотримано вимоги академічної доброчесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism [ID: 331464199] від 03.06.2025 року, який 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. В цілому при підготовці рецензії в тексті дисертації не було знайдено порушення академічної доброчесності.

Практичне значення підтверджується впровадженням адаптивного керування на основі марківських моделей та розроблених методів моніторингу станів гармат. Показано, що використання запропонованого контролера підвищує ймовірність ураження цілі першим пострілом з 45 % до 78 %, зменшує середню витрату снарядів з 6,1 до 3,8 та скорочує час знищення цілі зі 130 с до 85 с, що безпосередньо знижує ресурсні витрати та прискорює виконання бойових завдань.

Апробація, яку проведено, зокрема, в межах національного конкурсу МОУ «Кращий винахід 2023 року» (Сухопутні війська, Десантно-штурмові війська), що підкріплено патентом України на винахід № 127193 «Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею».

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» при викладанні наступних дисциплін: «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування», «Оптимальні та адаптивні системи управління».

Проведені здобувачем дослідження відповідають планам Національного університету «Одеська політехніка», затверджених МОНУ в держбюджетній НДР «Підвищення ефективності АСУ спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», НДР № 224-47 № ДР 0122U200907.

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» продемонстрував повне оволодіння методологією наукового пізнання, що відповідає вимогам ОНП 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Застосований у дисертації інструментарій — системний аналіз, математичне та імітаційне моделювання процесів зношення і діагностики стволів, марківські стохастичні моделі для адаптивного керування, а також об'єктно-орієнтований підхід до побудови інформаційних моделей — узгоджується з метою освітньо-наукової програми і спрямований на формування науково-педагогічних компетентностей здобувача для самостійного проведення досліджень та захисту дисертації за фахом. Отримані результати відповідають програмним предметним, професійним і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Висновок

Сукупність поданих матеріалів 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 роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, які у своїй сукупності розв'язують актуальну наукову проблему підвищення надійності та ефективності функціонування автоматизованих систем керування артилерійських підрозділів за умов невизначеності та динамічних збурень шляхом: удосконалення імітаційних моделей зношення і діагностики стволів і зарядних камер з урахуванням акустичних і візуальних полів пострілу; інтеграції марківських моделей із симуляційними методами для адаптивного керування.

Науковий рівень дисертаційної роботи та публікацій здобувача відповідає 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», затвердженого Постановою КМ України № 44 від 12.01.2022, зі змінами, внесеними Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 та Постановою КМ України № 507 від від 03.05.2024, оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності розв'язують актуальне наукове завдання підвищення надійності та ефективності функціонування автоматизованих систем керування артилерійськими системами за умов динамічних збурень шляхом удосконалення інформаційного забезпечення АСК, розвитку імітаційних моделей зношення й діагностики стволів і зарядних камер, інтеграції марківських моделей із симуляційними методами.

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 рецензент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теплових електростанцій
та енергозберігаючих технологій,
Національний університет «Одеська політехніка»

Олександр КЛИМЧУК