

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Нікула Станіслава Олексійовича

на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача
Максимова Олексія Максимовича на тему: «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.

Дисертація Максимова Олексія Максимовича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, присвяченою розв'язанню актуальної науково-технічної задачі – підвищенню надійності артилерійських систем в умовах динамічних збурень шляхом удосконалення інформаційного та алгоритмічного забезпечення автоматизованих систем керування. У роботі обґрунтовано імітаційне моделювання процесів зношення, діагностики та ефективності функціонування артилерійських стволів як основу для побудови стійких рішень керування в реальному часі.

Регулярне спостереження за перебігом сучасних бойових дій підтверджує ключову роль артилерії у виконанні тактичних завдань; швидкоплинність обстановки потребує багатовекторних вогневих засобів із розвиненим зворотним зв'язком та автоматизованою підтримкою прийняття рішень. Зростання інтенсивності застосування вогню висуває підвищені вимоги до надійності АСК, зокрема до здатності своєчасно виявляти деградацію вузлів, оцінювати ризики та коригувати режими стрільби без втрати боєздатності.

Високу результативність бойового застосування у дослідженні досягнуто через поєднання імітаційних моделей технічного стану гармати з алгоритмами адаптивного управління. Розроблене інформаційно-алгоритмічне забезпечення інтегрує Марківські моделі із симуляційними методами, що дає змогу коригувати траєкторні та організаційні рішення за умов невизначеності, підтримуючи заданий рівень надійності підрозділу у динамічній бойовій обстановці.

Під час кожного циклу «постріл – моніторинг – оновлення – рішення» стан гармати та зовнішні фактори відображаються у керуючих впливах: це забезпечує безперервний зворотний зв'язок між вимірними і змодельованими параметрами та вибором режимів вогню, а також своєчасне маневрування ресурсом стволів залежно від їх зношення й точносних характеристик.

Основні положення дисертаційного дослідження пройшли апробацію у межах національного конкурсу Міністерства оборони України «Кращий винахід 2023 року» (Сухопутні війська та Десантно-штурмові війська) і підтверджені патентом України на винахід № 127193 «Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею».

Отже, дослідження, що спрямоване на удосконалення автоматизованих систем керування артилерійськими підрозділами через інтеграцію імітаційного моделювання технічного стану та адаптивних алгоритмів прийняття рішень під невизначеністю, є своєчасним і практично значущим та забезпечує підвищення надійності й ефективності бойової роботи без втрати оперативності.

Новизни представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

Наукова новизна дисертаційної роботи визначається рядом теоретичних та прикладних результатів. Серед них:

Удосконалено комплекс імітаційних математичних моделей, що враховує акустичні та візуальні поля пострілів для оцінювання зношеності артилерійських стволів і зарядних камер 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.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

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

– Спосіб визначення енергетичної ефективності артилерійської гармати: пат. України на винахід. № 128164; заявл. 05.04.21; опубл. 24.04.24, Бюл. № 17.

– 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. Том 4, № 1(112). P. 41–53.

– 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.

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.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– 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.

– 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, № 4. P. 320–337.

– 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.

– 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.

– Maksymova O., Boltynkov 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.

– 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.

– 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.

– 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.

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 оперативної 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.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– Boltenev V., Brunetkin O., Dobrynin Y., 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*, Vol. 6 № 3 (114), 6–17.

– Спосіб визначення координати зустрічі артилерійського снаряда з поверхнею: пат. України на винахід № 127193; заявл. 20.11.20; опубл. 31.05.2023. Бюл. № 22.

– 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, No. 4. pp. 289–302.

– Максимов М.В., Гульцов П.С., Болтєнков В.О., Максимов О.М. Метод верифікації артилерійського вистрілу під час впливу випадкових збурень. *Морська безпека*. 2024, № 1. С. 36–49.

– 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.

– 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.

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

Розроблені автором і викладені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають високий рівень обґрунтованості. Дисертантом опрацьовано і проаналізовано значну кількість літературних джерел. Зроблені у дисертації висновки та рекомендації логічні і є результатом практичного досвіду розробки алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування артилерійськими комплексами, використання сучасних методів дослідження.

Крім того, додатково обґрунтовано наукові положення завдяки системно сформульованим завданням дисертаційного дослідження:

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

– удосконалити імітаційні моделі зношеності артилерійських стволів і зарядних камор 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.

По дисертаційній роботі є питання, які потребують уточнення:

1. В умовах маневреного бою при управлінні артилерійською установкою необхідно враховувати випадкові збурення, а саме ворожий вогонь та невизначеність обстановки. На стор. 44 дисертації окреслено проблеми управління вогнем за цих умов: необхідність оперативного коригування напрямку вогню, врахування випадкових відхилень траєкторії снаряда та швидкого переходу між режимами роботи. Які основні проблеми та виклики стоять перед системами управління артилерійським вогнем в умовах динамічних збурень, і як ці проблеми впливають на точність, надійність та безпеку бойової роботи?

2. Для прогнозування ресурсу гармати важливо мати характеристику впливу кожного пострілу на знос ствола. На стор. 95 введено показник відносного приросту зношення ствола після пострілу залежно від заряду та поточних динамічних збурень. Які математичні залежності використовуються для моделювання зношеності артилерійського ствола з кожним пострілом, і як у цій моделі враховано динамічні збурення (нагрів ствола, коливання тиску) та різні режими стрільби?

3. У динамічних умовах бою система управління має швидко адаптуватись до змін обстановки, невизначеності даних і технічних обмежень. На стор. 110–112 роботи автор формулює завдання адаптивного управління через реагування на раптові зміни при умові неповної інформації для забезпечення боєздатності установки. Пропонується замкнений цикл «стрільба – моніторинг – оновлення стану – розв'язок» для забезпечення заданої надійності. Які ключові завдання стоять перед адаптивним управлінням артилерійськими системами в умовах динамічних змін обстановки, і як запропонований у дисертації підхід вирішує ці завдання без втрати надійності?

4. Безперервний контроль технічного стану гармати та умов бою необхідний для своєчасного реагування на зношення. На стор. 147–148 роботи представлено структуру інформаційно-аналітичної системи моніторингу. Яким чином побудовано інформаційно-аналітичну систему моніторингу та адаптивного управління бойовою роботою артилерійської установки, і які її основні компоненти? Як представлена архітектура системи забезпечує безперервний моніторинг і зворотний зв'язок для адаптивного керування?

Наведені зауваження не знижують загальну високу оцінку роботи і мають характер рекомендацій щодо її подальшого розвитку.

Рівень виконання поставленого наукового завдання забезпечується:

Сформульованим науковим завданням, яке полягає у побудові об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі, що узгоджує внутрішньобалістичні процеси з акустичною та візуальною сигнатурою пострілу і формує інформаційні одиниці для подальшого керування. Таке моделювання забезпечує синхронізацію даних про швидкість снаряда та розширення порохових газів, дозволяє відтворювати стан ствола в динаміці і створює основу для діагностики та підвищення надійності автоматизованих систем керування (АСК) за умов зовнішніх збурень.

Розв'язанням наукового завдання, яке було забезпечено інтеграцією імітаційної моделі пострілу з адаптивним алгоритмічним забезпеченням на базі марківських моделей та симуляційних методів. Було реалізовано замкнений цикл «постріл – моніторинг – оновлення стану – рішення», у межах якого АСК оперативно коригує режими вогню та управлінські дії в умовах невизначеності, підтримуючи заданий рівень надійності артилерійських підрозділів у динамічній обстановці.

Методами вибору та узгодження вимірювальних засобів уздовж лінії стрільби для максимально ефективної реєстрації балістичної й дульної хвиль. Залученням узагальнених (у т. ч. параболічних) апроксимацій траєкторій забезпечує стійкість оцінювання у присутності випадкових збурень та підвищує точність верифікації кожного пострілу, що безпосередньо впливає на ефективність керування бойовою роботою.

Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації є наукові праці, які викладено у 17 друкованих працях, з них 9 — у фахових виданнях, 4 — патенти України на винахід, 4 — доповіді та тези на міжнародних наукових заходах.

Кількість і часовий діапазон публікацій, підготовлених за результатами дисертації, є достатніми для повного відображення її наукових положень. При оприлюдненні 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 КМ України № 44 від 12.01.2022, із урахуванням змін за 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, яку підтверджено протоколом перевірки системою StrikePlagiarism від 03.06.2025. Матеріали перевірено 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 дисертації нормам академічної доброчесності. У процесі підготовки відгуку порушень академічної доброчесності в тексті дисертації не виявлено.

Значимістю отриманих результатів для практичного використання є сформовані алгоритмічні та інформаційні рішення, які дозволили реалізувати в АСК керований життєвий цикл кожного пострілу — від формування керуючих впливів і моніторингу до верифікації результату — відповідно до прийнятого критерію ефективності.

Практичні положення дисертації апробовано та впроваджено зокрема через участь у національному конкурсі МО ЗСУ «Кращий винахід 2023 року» (Сухопутні війська, Десантно-штурмові війська) із підтвердженням патентом України на винахід № 127193 «Спосіб визначення координати зіткнення артилерійського снаряда з поверхнею».

Тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень з планами, затвердженими МОНУ в Національному університеті «Одеська політехніка» є складова частина держбюджетної НДР за темою «Підвищення ефективності АСУ спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» НДР № 224-47 (№ ДР 0122U200907).

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Дисертант Максимов О. М. в роботі «Підвищення надійності артилерійських систем за умов динамічних збурень шляхом розробки та вдосконалення алгоритмічного й інформаційного забезпечення АСК» продемонстрував володіння методологією наукової діяльності. Підтвердженням цього є застосування методології наукового дослідження, в основу якого покладено математичне моделювання процесів зношення та діагностики за рахунок використання марківських процесів для побудови стохастичних алгоритмів управління, методи теорії ймовірностей і статистики для оцінювання ефективності, а також об'єктно-орієнтоване моделювання на основі UML-діаграм. Використання таких методів відповідає цілі освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Отримані результати повністю відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня зазначеної спеціальності.

Висновок

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 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 представлена в роботі сукупність науково обґрунтованих результатів розв’язує актуальну наукову задачу — підвищення надійності та ефективності функціонування автоматизованих систем керування артилерійських підрозділів за умов динамічних збурень шляхом удосконалення алгоритмічного й інформаційного забезпечення, імітаційного моделювання процесів зношення та діагностики стволів, а також інтеграції марківських моделей із симуляційними методами для адаптації управління за невизначеності.

Вважаю, що автор дисертації «Підвищення надійності артилерійських систем за умов динамічних збурень шляхом розробки та вдосконалення алгоритмічного й 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

Начальник факультету підготовки спеціалістів
ракетно-артилерійського озброєння
Військової академії (м. Одеса)
кандидат технічних наук, доцент

Станіслав НІКУЛ