

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-133-139](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-133-139)  
УДК 004.896:629.89:681.5

**А.Г. Ткачук, к.т.н., доц.**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*  
**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.**  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*  
**А.Р. Кравчук, аспірант**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Проектування моделі рухомого кріплення для оптичних сенсорів мобільної роботизованої платформи з автономною системою стабілізації**

*У статті розглянуто нову мобільну роботизовану платформу із автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій. Представлено розроблену 3D-модель мобільної роботизованої платформи з автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій. Описано основні етапи проектування моделі рухомого блоку кріплення для оптичних сенсорів мобільної платформи. Забезпечено модульність та функціональність блоку кріплення оптичних сенсорів. Блок кріплення передбачає декілька варіантів компоновки кріплення камер: одночасно дві камери або одна камера. Така модульність дає можливість змінювати варіативність обладнання на блоку кріплення камер. Блок кріплення оптичних сенсорів складається з декількох частин: основа, основна рамка, допоміжне кріплення, кріплення для камери та кріплення для тепловізора. Представлено креслення 3D-моделей кожного складового елемента. Наведено опис процесу підготовки технології виготовлення прототипу рухомого кріплення для оптичних сенсорів на основі 3D-друку технологією FDM. На прикладі циліндричної основи для блоку оптичних сенсорів описано всі особливості налаштування технології 3D-друку.*

**Ключові слова:** *робототехніка; оптичні сенсори; мобільна платформа; стабілізація; 3D-модель; розвідка; 3D-друк.*

**Актуальність теми.** Військові мобільні роботи для розвідки – це роботи, які використовуються військовими для збору інформації про ворожі позиції і рухи, що дозволяє планувати стратегію та тактику бойових дій. Такі роботи можуть бути автономними автомобілями, різними маневреними безпілотними апаратами (дронами), які здатні працювати у складних умовах, наприклад, в обстановці бойових дій або в зоні екстремальних погодних умов. Іншим типом мобільних роботів для розвідки є роботи-безпосередньої дії, які можуть бути використані для збору інформації з небезпечних зон. Наприклад, ці роботи можуть просуватися по мінному полі, збирати дані про вибухонебезпечні об'єкти і надавати цю інформацію операторам з безпечної відстані.

Для розвідки можуть використовуватися різні типи мобільних роботів, які мають різні функціональні можливості. Наприклад, деякі з них можуть бути обладнані камерами та сенсорами для збору даних, інші можуть мати встановлену систему штучного інтелекту для аналізу зібраних даних та прийняття рішень. Окрім того, мобільні роботи можуть бути використані для забезпечення зв'язку в умовах, коли це стає неможливим або дуже складним. Вони можуть бути оснащені радіоприймачами та передавачами, що дозволяє передавати важливу інформацію на відстань.

В цілому військові мобільні роботи для розвідки можуть значно полегшити процес збору інформації про ворожі позиції і рухи, зменшити ризики для людей і покращити ефективність військових операцій.

Отже, мобільні роботи для розвідки стали невід'ємною частиною сучасних військових операцій, тому їх розробка та вдосконалення продовжується.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Сьогодні мобільні військові роботи розробляються різними компаніями та організаціями у світі, найвідомішими з яких є Boston Dynamics, QinetiQ, General Dynamics, iRobot, Lockheed Martin, Northrop Grumman та інші. Оскільки розробка мобільних військових роботів є досить складним і дорогим завданням, багато компаній та організацій працює у партнерстві з військовими організаціями для спільної розробки та випробування роботів, а також долучає профільних науковців з університетів. Такий підхід дозволяє збільшити швидкість розробки та зменшити витрати на дослідження й випробування нових технологій.

Дослідження мобільних роботів здійснюють вчені з різних галузей науки, зокрема, з робототехніки, інформаційних технологій, механіки, електроніки та інших. Науковці займаються розробкою нових технологій, алгоритмів та математичних моделей, які дозволяють покращувати функціональність і продуктивність мобільних роботів. Серед найвідоміших науковців, які досліджують мобільних роботів, варто виокремити Родні Брукса, Гільєрмо Гомеса, Хіроші Ішігуро, Марка Рея, Джозефа О'Коннора та інші.

У [1–2] описано стан і перспективи розвитку роботизованих дистанційно керованих мобільних платформ, які можуть використовуватись з військовою, так і цивільною метою.

У [3] наведено дослідження керування просторовим наведенням танкової гармати. Система керування танковою гарматою приводиться в рух і стабілізується сервосистемою двигуна. Однак складні нелінійності в ній, такі як тертя, викликають наявність значних похибок. У статті розроблено модель динаміки зчеплення двигуна і механізму, побудовано на основі принципу еквівалентного моменту. На цій базі побудовано обчислений регулятор моменту, невизначеність якого оцінювалася за допомогою нейронної мережі радіальної базисної функції.

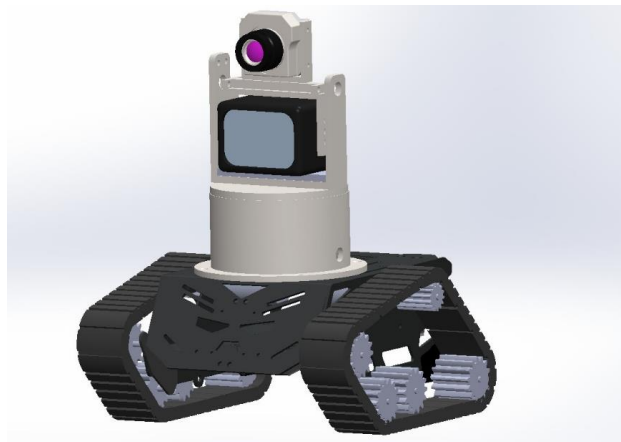
У [4–5] описано останні тенденції та просторовий розподіл дослідницьких активностей у галузі військової робототехніки. Досліджено різні технології військових мобільних роботів та їх застосування в різних сферах, враховуючи розвідку, дезактивацію вибухових пристроїв та бойову діяльність.

У [6] розповідається про новий мобільний робот, який здатний масштабувати горизонтальні та вертикальні поверхні, використовує мікроприсоски для забезпечення адгезії для проходження по різних поверхнях. Запропонована модель здатна знімати зображення, відео та аудіо в режимі реального часу, щоб забезпечити спостереження за людиною або територією. Робот підходить для військових застосувань з метою спостереження та розвідки.

У [7–9] описано новий чутливий елемент системи стабілізації озброєння легкої броньованої техніки, який може використовуватись і для системи стабілізації оптичних пристроїв для розвідувальних операцій.

**Метою статті** є проектування моделі рухомого кріплення для оптичних сенсорів мобільної роботизованої платформи з автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій.

**Викладення основного матеріалу.** Науковцями Державного університету «Житомирська політехніка» розроблено мобільну роботизовану платформу для проведення розвідувальних операцій (рис. 1) [10–11]. Мобільна роботизована платформа побудована на базі малощумного гусеничного шасі. Гусениці платформи зроблені з інженерного пластика, який забезпечує відмінну еластичність, чудовий демпфуючий ефект і високе зчеплення шасі з дорогою. На шасі розміщені аналогова камера нічного бачення та тепловізор. Обидва оптичні сенсори закріплені на спеціалізованій рухомій башті з власною системою стабілізації. Для моделювання конструкції мобільної платформи було використано програмне середовище SOLIDWORKS.



*Рис. 1. 3D-модель мобільної роботизованої гусеничної платформи з автономною системою стабілізації для розвідувальних операцій*

Проектування 3D-моделей та креслень основних елементів корпусу мобільної гусеничної платформи виконано за допомогою CAD-систем. Обрано матеріали та створено управляючу програму (g-code) для друку деталей на 3D-принтері технологією FDM. Процес проектування та створення деталі виконується у різних програмах, які підтримують сумісні формати 3D-моделей, наприклад, формати stl та obj.

Основні частини проектування та підготовки виготовлення деталей пульта керування та корпусу роботизованої гусеничної платформи:

- проектування кріплень для камер та системи стабілізації;
- проектування моделі пульта керування;
- проектування корпусу для антени RFD 900+ та її модуля;
- проектування корпусу для системи керування на базі Raspberry Pi;
- проектування корпусу для системи газоаналізу;
- підготовка технології виготовлення деталей на 3D принтері.

*Проектування моделі рухомого кріплення для оптичних сенсорів мобільної роботизованої платформи з автономною системою стабілізації для розвідувальних операцій.*

Модель кріплення для оптичних сенсорів, а саме камери з інфрачервоним випромінюванням та тепловізора, розроблена на основі виконаного аналізу існуючих технічних рішень відомих компаній-виробників систем стабілізації відеокamer (DJI, Zhiyun, FeiyuTech, Glidescam). Основною ідеєю було забезпечення модульності та функціональності блоку кріплення оптичних сенсорів. Блок кріплення (рис. 2) передбачає декілька варіантів компоновки кріплення камер: одночасно дві камери або одна камера. Така модульність дає можливість змінювати варіативність обладнання на блоку кріплення камер.

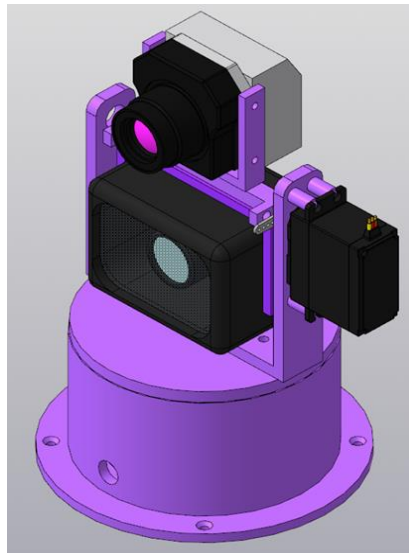


Рис. 2. Кріплення для камери та тепловізора

При встановленні одного оптичного модуля місця у системі кріплення камер стає більше, що дає можливість використовувати більш потужні оптичні сенсори.

Блок кріплення камер складається з декількох частин: основа, основна рамка, допоміжне кріплення, кріплення для камери та кріплення для тепловізора. Основа виконана у вигляді плоскої шайби з отворами двох різних діаметрів (рис. 3). У центральній частині розташовано чотири отвори на симетричній відстані один від одного, а також чотири отвори розташовані в одну лінію. Також основа має фігурне пазове кріплення до башти гусеничної платформи.

Основна рамка виконана у вигляді П-подібної деталі з отворами для кріплення типу болт та гайка (рис. 4). На бокових частинах деталі спроектовано два отвори для підшипників кочення, а на нижній частині рамки розташовані отвори для її закріплення до основи за допомогою кріплення типу болт-гайка.

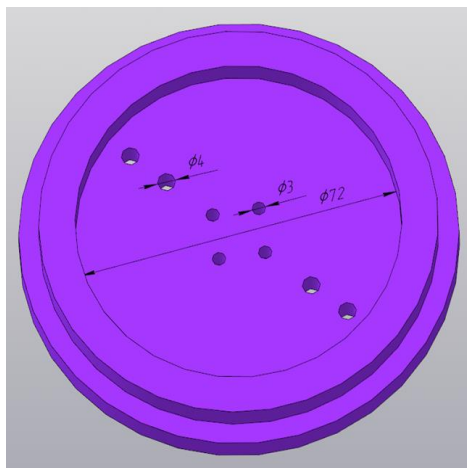


Рис. 3. Основа з отворами

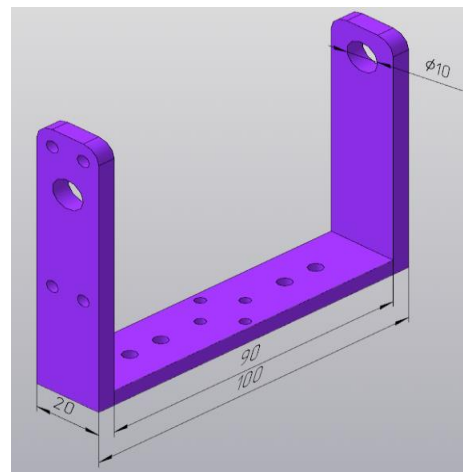


Рис. 4. Основна рамка

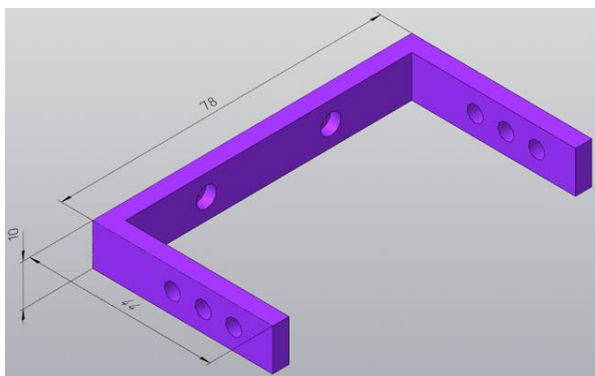


Рис. 5. Кріплення для основної камери

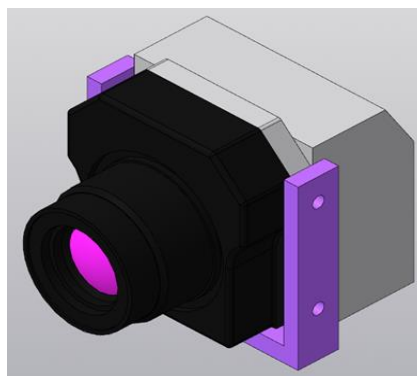


Рис. 6. Кріплення для тепловізора

Для фіксування модуля основної камери розроблено спеціальну рамку у вигляді П-подібної деталі з отворами на бокових гранях та на основі (рис. 5). На бокових гранях спроєктовано по три отвори, що дає гнучкість у монтажі та кріплення модуля камери. На основі розташовано два отвори з пазами під болти для кріплення рамки до допоміжної деталі. Фіксування модуля камери та допоміжної деталі виконується за допомогою кріплення типу болт-гайка.

Кріплення для тепловізора виконано у вигляді П-подібної рамки з отворами на основі та бокових гранях (рис. 6). Знизу деталі спроєктовано два отвори для кріплення подальших частин конструкції для камери та тепловізора. Також спроєктовано по два отвори на бічних сторонах для кріплення самого тепловізора. Фіксування тепловізора та рамки до проміжної деталі виконується за допомогою кріплення типу болт-гайка.

Допоміжна рамка виконана віддзеркалено в Т-подібній формі з отворами на основі та бокових гранях (рис. 7). Отвори на основі допоміжної рамки створені для подальшого кріплення інших частин між собою за допомогою болтів та гайок. На бічних сторонах спроєктовано по два отвори для фіксації конструкції за допомогою кріплення типу болт-гайка, також передбачено отвори для фіксування «різка» вихідного валу серводвигуна.

Кріплення для основної камери та тепловізора Flir Tau (рис. 8) створені на основі аналізу існуючих технічних рішень та власного досвіду з експлуатації стабілізаторів. Завдяки розбірності конструкції є можливість забезпечити модульність та функціональність блоку кріплення оптичних модулів, а також підвищити їх ремонтпридатність. Така компоновка також дає можливість для подальшої модернізації з боку використання інших модулів. Всі конструкційні деталі фіксуються за допомогою отворів з пазами під болти та гайки.

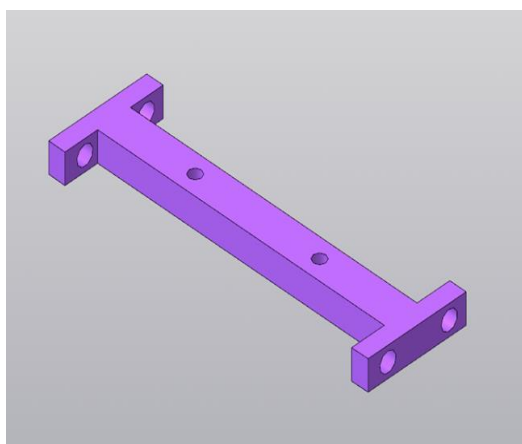


Рис. 7. Допоміжна рамка

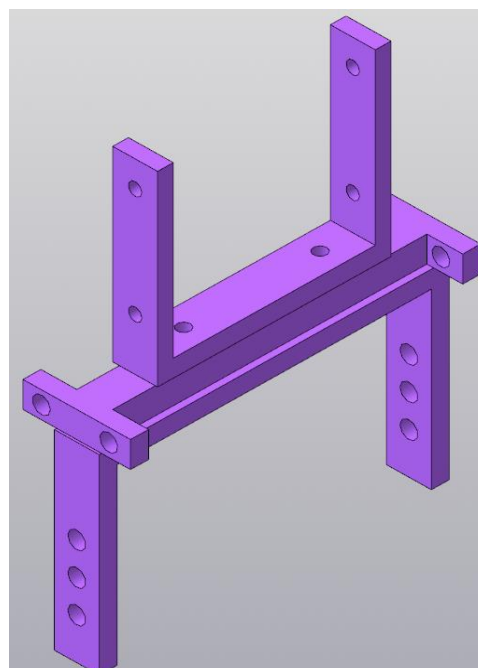


Рис. 8. Кріплення для камери та тепловізора

Основа для камер та їх кріплення встановлюється на циліндричну основу (рис. 9), в якій закріпленій за допомогою болтових з'єднань серводвигун. Вихідний вал серводвигуна закріпленій з основою для камер, що дає функціональну можливість обернути блок камер на 180 градусів.

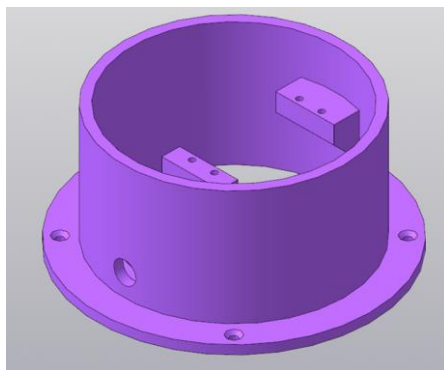


Рис. 9. Циліндрична основа для блоку камер

#### **Підготовка технології виготовлення прототипу рухомого кріплення для оптичних сенсорів на основі 3D-друку технологією FDM.**

Для друку 3D моделі з ПК необхідно попередньо створити файл у спеціалізованій програмі з розширенням файлу .gcode.

Gcode – це файл який містить інформацію, яка необхідна 3D-принтеру для коректного виконання процесу FDM-друку пластиком попередньо підготовленої 3D-моделі. Цей файл містить в собі таку інформацію: переміщення по трьом координатах (X, Y, Z), температуру нагріву сопла, швидкість подачі філаменту тощо. G-code – загальна назва мови програмування, регламентованого стандартом ISO 6983-1: 1982. Програма, написана з використанням G-коду, складається з кадрів, кожен кадр містить унікальний набір команд управління.

Наразі існують різноманітні програмні продукти, що дозволяють оброблювати файли 3D-моделей розширення .stl та формувати Gcode-файли з розширенням (стандартний формат, який використовується для зберігання тривимірних моделей). У цій розробці використано Cura 3D (рис. 10).

Cura – це стандартна програма-слайсер для всіх 3D-принтерів компанії Ultimaker, але її можна використовувати і з більшістю принтерів інших компаній виробників, враховуючи RepRap, Makerbot, Printrobot, Lulzbot, Witbox. У програми повністю відкритий вихідний код, її можливості можна розширювати за допомогою плагінів.

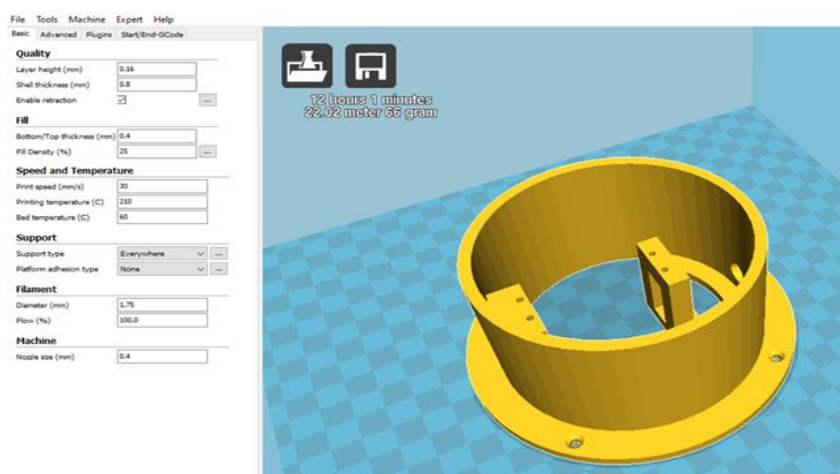


Рис. 10. Налаштування 3D друку для циліндричної основи в Cura 3D

Наприклад, циліндрична основа для блоку камер є наймасивнішою деталлю з усієї збірки, також ця деталь має особливі отвори та пази всередині конструкції. 3D-друк деталей з вказаними вище конструктивними особливостями передбачає більш тонкі налаштування технології 3D-друку. Базові параметри для друку всіх елементів є такими (рис. 10): висота шару – 0,16 мм, товщина стінки – 0,8 мм, товщина дна та кришки – 0,4 мм, щільність заповнення – 25 %, швидкість друку – 30 мм/с, температура сопла – 210 °С, температура стола – 60 °С, підтримки всюди, тип прилипання до стола відсутній, діаметр сопла – 0,4 мм. У програмі автоматично складається маршрут проходження сопла, сітка заповнення,

товщина стінки та базові налаштування. Загальний час для друку такої деталі склав 12 годин 1 хвилина, запланована кількість матеріалу для друку PLA пластиком 66 грам або приблизно 22 метри нитки філаменту діаметром 1,75 мм.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Розглянуто нову мобільну роботизовану платформу із автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій. Встановлено, що найпоширеніші задачі військових мобільних роботів – це використання для розвідки, знешкодження бомб та ведення бойових дій. Розроблено 3D-модель мобільної роботизованої платформи з автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій, а також описано основні етапи проектування моделі рухомого блоку кріплення для оптичних сенсорів цієї мобільної платформи. Спроектовано блок кріплення для оптичних сенсорів таким чином, щоб передбачити декілька варіантів компоновки кріплення кількох камер (тепловізорів). Приведено креслення 3D-моделей кожного складового елемента рухомого кріплення для оптичних сенсорів. Наведено опис процесу підготовки технології виготовлення прототипу рухомого кріплення для оптичних сенсорів на основі 3D друку технологією FDM на прикладі циліндричної основи для блоку оптичних сенсорів.

#### Список використаної літератури:

1. Son Kuswadi Development of Gun Turret Drive Stabilization System with a Microcontroller and Implementation on a Model Tank / Son Kuswadi, Mohamad Nasyir Tamara, H.W. Dwi Nugroho // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 555. – P. 217–221.
2. Control Simulation of An Automatic Turret Gun Based on Force Control Method / T.Nasyir Moh, H.Nurhadi, B.Pramujati, E.Pitowarno // Proceeding of INAGENTSYS, August 19-21, 2014, Bandung, Indonesia.
3. Nonlinear motor-mechanism coupling tank gun control system based on adaptive radial basis function neural network optimized computed torque control / Huaqing Zheng, Xiaoting Rui, Jianshu Zhang et al. // ISA Transactions. – 2022. – Vol. 131 (5). DOI: 10.1109/ICIECS.2015.7193127.
4. Peter Simon Sapaty Military Robotics: Latest Trends and Spatial Grasp Solutions / Peter Simon Sapaty // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 4, № 4. – P. 9–18.
5. Sapaty P. The World as an Integral Distributed Brain under Spatial Grasp Paradigm / P.Sapaty / Book chapter in Intelligent Systems for Science and Information. – Springer. – Feb. 4. – 2014.
6. Snitch: Design and development of a mobile robot for surveillance and reconnaissance / R.Karthikeyan, S.Karthik, Prasanna Vishal TR, S.Vignesh // 2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIECS). – 2015. DOI: 10.1016/j.isatra.2022.05.011.
7. Ткачук А.Г. Новий прецизійний чутливий елемент автоматизованої системи стабілізації озброєння : монографія / А.Г. Ткачук, О.М. Безвесільна. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. – 272 с.
8. Дослідження основних напрямків розвитку сучасних системи стабілізації озброєння / А.Г. Ткачук, О.М. Безвесільна, А.А. Гуменюк та ін. // Технічна інженерія. – 2020. – Вип. 2 (86). – С. 73–80.
9. Проектування стабілізованої платформи інформаційно-вимірювальної системи для проведення розвідувальних операцій / А.Г. Ткачук, О.М. Безвесільна, В.М. Бондарчук, І.В. Крижанівська // Вісник Хмельницького національного університету. Сер. : Технічні науки. – 2022. – № 2. – С. 141–145.
10. Проектування інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи / А.Г. Ткачук, О.О. Добржанський, М.В. Богдановський, А.Р. Кравчук // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Сер. : Технічні науки. – 2022. – Т. 33 (72), № 2. – С. 108–113.
11. Ткачук А.Г. Градувальна характеристика чутливого елемента системи стабілізації оптичних пристроїв на базі роботизованої платформи / А.Г. Ткачук // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Сер. : Технічні науки. – 2022. – Т. 33 (72), № 5. – С. 159–163.

#### References:

1. Son, Kuswadi, Mohamad, Nasyir Tamara and Dwi Nugroho, H.W. (2014), «Development of Gun Turret Drive Stabilization System with a Microcontroller and Implementation on a Model Tank», *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 555, pp. 217–221.
2. Nasyir Moh, T., Nurhadi, H., Pramujati, B. and Pitowarno, E. (2014), «Control Simulation of An Automatic Turret Gun Based on Force Control Method», *Proceeding of INAGENTSYS*, August 19-21, Indonesia, Bandung.
3. Zheng, Huaqing, Rui, Xiaoting, Zhang, Jianshu et al. (2022), «Nonlinear motor-mechanism coupling tank gun control system based on adaptive radial basis function neural network optimized computed torque control», *ISA Transactions*, Vol. 131 (5), doi: 10.1109/ICIECS.2015.7193127.
4. Simon Sapaty, Peter (2015), «Military Robotics: Latest Trends and Spatial Grasp Solutions», *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, Vol. 4, No. 4, pp. 9–18.
5. Sapaty, P. (2014), «The World as an Integral Distributed Brain under Spatial Grasp Paradigm», *Book chapter in Intelligent Systems for Science and Information*, Springer, Feb. 4.
6. Karthikeyan, R., Karthik, S., Prasanna Vishal, T.R. and Vignesh, S. (2015), «Snitch: Design and development of a mobile robot for surveillance and reconnaissance», *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIECS)*, doi: 10.1016/j.isatra.2022.05.011.



7. Tkachuk, A.H. and Bezvesilna, O.M. (2022), *Novyi pretsyziyni chutlyvyi element avtomatyzovanoi systemy stabilizatsii ozbroiennia*, monohrafiia, Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politehnika», Zhytomyr, 272 p.
8. Tkachuk, A.H., Bezvesilna, O.M., Humeniuk, A.A. et al. (2020), «Doslidzhennia osnovnykh napriamkiv rozvytku suchasnykh systemy stabilizatsii ozbroiennia», *Tekhnichna inzheneriia*, Issue 2 (86), pp. 73–80.
9. Tkachuk, A.H., Bezvesilna, O.M., Bondarchuk, V.M. and Kryzhanivska, I.V. (2022), «Proektuvannia stabilizovanoi platformy informatsiino-vymiriuvanoi systemy dlia provedennia rozviduvalnykh operatsii», *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*, No. 2, pp. 141–145.
10. Tkachuk, A.H., Dobrzhanskyi, O.O., Bohdanovskyi, M.V. and Kravchuk A.R. (2022), «Proektuvannia informatsiino-vymiriuvanoi systemy dlia monitoryngu naiavnosti shkidlyvykh ta vybukhonebezpechnykh haziv na bazi robotyzovanoi husenychnoi platformy», *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Ser. Tekhnichni nauky*, Vol. 33 (72), No. 2, pp. 108–113.
11. Tkachuk, A.H. (2022), «Hradiuvalna kharakterystyka chutlyvoho elementa systemy stabilizatsii optychnykh prystroiv na bazi robotyzovanoi platformy», *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Ser. Tekhnichni nauky*, Vol. 33 (72), No. 5, pp. 159–163.

**Ткачук Андрій Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-2466-6299>.

Наукові інтереси:

- автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи;
- мобільні роботизовані платформи;
- системи стабілізації озброєння.

**Безвесільна Олена Миколаївна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>.

Наукові інтереси:

- фундаментальні і прикладні питання механіки гіроскопічних та навігаційних приладів рухомих об'єктів;
- розробка методів і комп'ютерних технологій обробки вимірювальної інформації навігаційного комплексу;
- створення нового автоматизованого прецизійного кутомірного засобу для попередньої виставки навігаційних елементів;
- стабілізатори озброєння легкої броньованої техніки.

**Кравчук Антон Романович** – асистент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-8305-2492>.

Наукові інтереси:

- промислова та мобільна робототехніка;
- САПР;
- вбудовані системи.

**Tkachuk A.H., Bezvesilna O.M., Kravchuk A.R.**

#### **Designing a model of a mobile mount for optical sensors of a mobile robotic platform with an autonomous stabilization system**

The article discusses a new mobile robotic platform with an autonomous stabilization system for reconnaissance operations. A developed 3D model of a mobile robotic platform with an autonomous stabilization system for reconnaissance operations is presented. The main stages of designing a model of a movable mounting block for optical sensors of a mobile platform are described. The modularity and functionality of the optical sensor mounting block is ensured. The mounting block provides several options for mounting cameras: two cameras or one camera at the same time. Such modularity makes it possible to change the variability of the equipment on the camera mounting block. The optical sensor mounting block consists of several parts: the base, the main frame, the auxiliary mount, the camera mount, and the thermal imager mount. Drawings of 3D models of each constituent element are given. The description of the process of preparation of the technology for manufacturing a prototype of a movable mount for optical sensors based on 3D printing by FDM technology is given. Using the example of a cylindrical base for a block of optical sensors, all the features of setting up 3D printing technology are described.

**Keywords:** robotics; optical sensors; mobile platform; stabilization; 3D model; intelligence; 3D printing.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2023.