

Ткачук А.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

КОНЦЕПЦІЯ ПІДБОРУ ДВИГУНІВ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ІЗ АВТОНОМНОЮ СИСТЕМОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Приведено опис нової роботизованої мобільної платформи 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. Оголошено, що двигуни мобільних роботів відрізняються в залежності від типу робота та його завдань. Одним з найпоширеніших типів двигунів, які використовуються в мобільних роботах, є електричні двигуни. Вони працюють на електричному заряді та мають низький рівень шуму та викидів. Це робить їх ідеальним вибором для роботів, які потребують тихого та екологічно чистого руху. В загальному, вибір двигуна для мобільного робота залежить від типу робота, його завдань, потреби в енергії, швидкості руху, місцевості, на якій робот буде використовуватися, та інших факторів. Визначено, що важливим аспектом вибору двигуна є забезпечення надійності та безпеки самого робота під час його руху. Тому вибір двигуна також залежить від можливості контролювання руху робота та його стійкості на різних поверхнях. Описано концепцію підбору двигунів мобільної роботизованої платформи із автономною системою стабілізації. Вибираючи двигуни постійного струму, необхідно розуміти деякі базові фізичні закони, які впливатимуть на мобільного робота. Наприклад: сила, вага, маса, крутний момент, прискорення і швидкість, а також взаємозв'язок між ними. Визначено, що двигун може видавати набагато більший крутний момент, ніж може витримати редуктор або підшипники. Іншим вагомим фактором впливу є граничний крутний момент редуктора. Він може бути меншим, ніж двигун може фактично забезпечити. Саме тому встановлено, що втрати потужності двигунів становлять 50% або більше і тоді треба обирати двигун, який забезпечить принаймні вдвічі більшу потужність, ніж потрібно.

Ключові слова: мобільний робот, роботизована платформа, двигун, потужність, точність, стабілізація.

Постановка проблеми. Військові мобільні роботи – це роботи, які призначені для використання військовими у різних операціях. Вони можуть бути використані для розвідки, знешкодження бомб, ведення бойових дій, пересування вантажів, і багато іншого. Військові мобільні роботи зазвичай оснащені різними типами сенсорів, камерами, мікрофонами та іншими датчиками, які дозволяють їм отримувати інформацію про навколишнє середовище та передавати її військовим. Вони можуть бути керовані дистанційно або автономно, в залежності від їх призначення та завдань, які вони повинні виконувати. Військові мобільні роботи можуть бути різних розмірів та форм, включаючи наземні, повітряні та водні роботи. Вони можуть бути використані для допомоги військовим у зниженні ризиків, збільшенні ефективності та забезпеченні переваг у бойових умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1, с. 217; 2, с. 1] описано стан і перспективи розвитку роботизованих дистанційно-керуваних мобільних платформ, які можуть використовуватись як у військових, так і цивільних цілях.

У роботі [3, с. 1] приведено 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 основі побудовано обчислений регулятор моменту, невизначеність якого оцінювалася за допомогою нейронної мережі радіальної базисної функції.

У статті [4, с. 9; 5, с. 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, включаючи розвідку, дезактивацію вибухових пристроїв та бойову діяльність.

У роботі [6, с. 1] описано 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.

Постановка завдання. Двигуни мобільних роботів відрізняються в залежності від типу робота та його завдань. Одним з найпоширеніших типів двигунів, які використовуються в мобільних роботах, є електричні двигуни. Вони працюють на електричному заряді та мають низький рівень шуму та викидів. Це робить їх ідеальним вибором для роботів, які потребують тихого та екологічно чистого руху.

Іншим поширеним типом двигунів є двигуни внутрішнього згорання або турбінні двигуни. Вони зазвичай використовуються в повітряних роботах, таких як дрони або БПЛА, тому що вони забезпечують потрібний рівень тяги.

Також для руху мобільних роботів можуть використовуватися, наприклад, пневматичні або гідравлічні системи. У таких роботах гідравлічні або пневматичні насоси створюють тиск, який потім перетворюється на рух робота. Ці системи, зазвичай, використовуються при великих навантаженнях, таких як підйом великих вантажів або рух габаритних машин.

В загальному, вибір двигуна для мобільного робота залежить від типу робота, його завдань, потреби в енергії, швидкості руху, місцевості, на якій робот буде використовуватися, та інших факторів. Наприклад, якщо мобільний робот має проводити довгий час на роботі без зарядки, то можуть використовуватися більш ефективні та міцніші джерела живлення, такі як літій-іонні або літій-полімерні батареї. Якщо робот має рухатися в умовах, де присутня велика кількість перешкод, то важливим фактором може стати маневреність та поворотність робота.

Крім того, важливим аспектом є забезпечення надійності та безпеки робота під час його руху. Тому вибір двигуна також залежить від можливості контролювання руху робота та його стійкості на різних поверхнях.

Зважаючи на вищевказані фактори, вибір двигуна для мобільних роботів є складним завданням, яке потребує уважного аналізу технічних та функціональних вимог до робота. Проте, правильний вибір дозволяє досягти ефективної та безпечної роботи мобільного робота в будь-яких умовах.

Мета – розробити концепцію підбору двигунів для мобільної роботизованої платформи із авто-

номною системою стабілізації, призначеної для проведення розвідувальних операцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Науковцями кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка» під керівництвом автора статті розроблено нову мобільну роботизовану платформу для проведення розвідувальних операцій із автономною системою стабілізацією оптичних приладів (рис. 1) [7, с. 67].

Мобільна роботизована платформа побудована на базі малошумного гусеничного шасі. Гусениці платформи зроблені з інженерного пластика, який забезпечує відмінну еластичність, чудовий демпфуючий ефект і високе зчеплення шасі з дорогою. Максимальна швидкість обертання: 160 об/хв. Максимальна вантажопідйомність платформи – 6 кг.



Рис. 1. Мобільна роботизована платформа для проведення розвідувальних операцій

На шасі розміщені аналогова камера нічного бачення та тепловізор. Обидва оптичні сенсори закріплені на спеціалізованій рухомій башті з власною системою стабілізації.

Мобільна роботизована платформа має два потужні електродвигуни постійного струму, оснащені редукторами з металевими шестернями) [8, с. 73; 9, с. 142; 10, с. 161].

Двигун постійного струму (DC) складається з набору магнітів, котушки ротора та комутатора. Коли подається струм на котушку ротора, вона перетворюється на електромагніт і відштовхує інші магніти. Комутатор змушує струм в котушці ротора змінювати полярність під час його обертання. Ця зміна полярності стимулює котушку ротора відштовхувати магніти і створювати постійний крутний момент. Швидкість обертання двигуна постійного струму пропорційна напрузі, що подається на ротор. Потужність, що виробляється двигуном, пропорційна напрузі, помноженій на струм:

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

де P – потужність; U – напруга; I – струм.

Інший ключовий зв'язок наведено нижче:

$$P = T \cdot \omega, \quad (2)$$

де P – потужність; T – крутний момент; ω – кутова швидкість [11, с. 36].

Це означає, що для того, щоб збільшити вихідну потужність двигуна, можна збільшити номінальну напругу або збільшити струм. Наприклад, двигун постійного струму на 12 В (як у спроектованій платформі) може видавати таку ж потужність, як і двигун постійного струму на 6 В, але при вдвічі меншому струмі. Це важливо, тому що більшість компонентів обмежені силою струму, яку вони можуть витримати. Якщо мобільна роботизована платформа буде дуже важка (або навантажена корисним вантажем), то доцільно розглядати двигуни постійного струму на 24 В або навіть 90 В.

Ще однією ключовою властивістю двигунів постійного струму є те, що швидкість регулюється за допомогою зміни напруги. При визначенні розміру двигуна постійного струму будемо використовувати номінальну напругу двигуна, тобто максимальну напругу, на яку розрахований двигун. Існує кілька різних типів двигунів постійного струму. У більшості випадків використовують щіткові двигуни постійного струму.

Зменшення швидкості призводить до збільшення крутного моменту. Це оптимально для старту, оскільки більшість двигунів постійного струму мають частоту обертання вихідного валу

(обертів на хвилину) в кілька тисяч і дуже малий крутний момент. Використання редуктора зменшить швидкість обертання валу і збільшить крутний момент.

Вибираючи двигуни постійного струму, необхідно розуміти деякі базові фізичні закони, які впливатимуть на мобільного робота. Наприклад: сила, вага, маса, крутний момент, прискорення і швидкість, а також взаємозв'язок між ними.

Вага визначається як сила, що виникає внаслідок дії прискорення сили тяжіння на тіло. На поверхні Землі використовують значення прискорення сили тяжіння рівне $9,8 \text{ м/с}^2$.

На рис. 2 зображено різні сили, які будуть діяти на мобільного робота.

Вплив гравітації на роботизовану платформу:

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

На рис. 2 ключовими силами є:

$$W = m \cdot a = m \cdot g = mg, \quad (4)$$

де W вага; m маса; a прискорення; g прискорення сили тяжіння.

На рис. 2 сила ваги розбивається на дві складові:

$$F_{pd} = f_g, \quad (5)$$

де F_{pd} сила, що тягне робота вниз по нахилу; $F_{pd} = f_g =$ сила тяжіння; g прискорення сили тяжіння; m маса; $\sin\theta$ кут нахилу.

Ця сила тягне робота назад і вниз по нахилу і повинна бути подолана обраним двигуном. Чим більший кут нахилу, тим більшою буде ця сила. Нахил, на який намагається піднятися робот, сут-

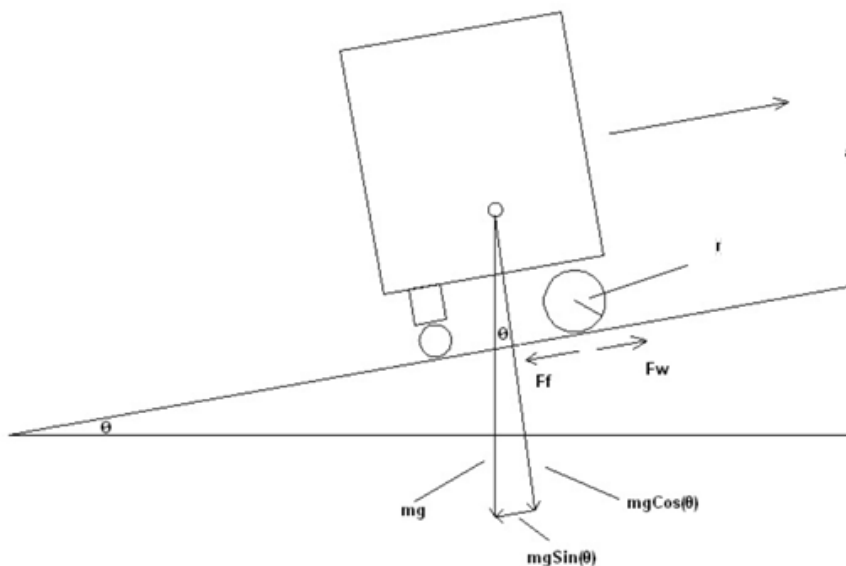


Рис. 2. Схема робота з двома передніми ведучими колесами та заднім поворотним механізмом [11, с. 34]

тво впливає на крутний момент, необхідний від приводних двигунів.

$$F_p = f_n =, \quad (6)$$

де F_p сила, що утримує робота на схилі; f_n – сила тертя.

Ця сила утримує роботизовану платформу на схилі. Разом з силою тертя необхідні для того, щоб привідні колеса платформи могли штовхати її вперед по схилу. На рис. 2 крутний момент – це сила на краю ведучих коліс, яка штовхає роботизовану платформу вгору по схилу. Крутний момент – це вимір сили, прикладеної для обертання тіла навколо певної осі. У мобільному роботі тілом буде колесо, а віссю – вал двигуна.

$$T = F \cdot d, \quad (7)$$

де T – крутний момент; F – сила; d – відстань.

Швидкість, з якою робот буде рухатися вгору по схилу:

$$V = \frac{a \cdot t}{2} + V_i, \quad (8)$$

де V – швидкість; a – прискорення; t час; V_i початкова швидкість.

Тепер, коли проаналізовано всі сили, що діють на роботизовану платформу, розпочнемо процес визначення розмірів приводних двигунів.

Щоб визначити, якого розміру двигуни нам потрібні для платформи, необхідно визначити наступне:

З рис. 2 зосередимося на силах, що діють паралельно до похилої поверхні. Також припустимо, що робот стартує з місця і повинен розігнатися до повної швидкості:

$$T = f_w \cdot r, \quad (9)$$

де T – крутний момент; f_w сила, що тисне на колесо; r радіус ведучого колеса.

У фізиці всі сили повинні врівноважуватися, що дає рівняння:

$$\sum F = 0$$

Якщо робот рухається з постійною швидкістю, сума всіх сил дорівнюватиме нулю:

$$\sum F = f_t = f_w - f_g = 0, \quad (10)$$

де f_t сумарна сила; f_w сила, що тисне на колесо; f_g сила, що тягне робота вниз по нахилу під дією сили тяжіння.

Щоб правильно визначити розмір двигуна, необхідно розгін робота зі стану спокою до повної швидкості. Крутний момент, необхідний для того, щоб змусити робота рухатися, може бути набагато більшим, ніж для утримання його в процесі руху. У цьому випадку сума сил, що діють на робота, дорівнюватиме загальній масі, помноженій на прискорення.

$$\sum F = f_t = f_w - f_g = Ma$$

в кінцевому результаті отримаємо:

$$T = M(a + g \sin \theta) r \quad (11)$$

Це загальний крутний момент (11), необхідний для керування роботом. Оскільки зазвичай використовується два приводних двигуни, то значення моменту можемо розділити навпіл.

Нарешті, щоб визначити, яку потужність повинні подавати двигуни, слід використовувати наступне рівняння:

$$P = T \cdot \omega, \quad (12)$$

де P – потужність; T – крутний момент; ω кутова швидкість.

Отримані значення відповідають ідеальному режиму роботи. Більшість роботів не працюють у даному режимі, тому потрібно врахувати втрати в двигуні постійного струму і неефективність редуктора. Зазвичай припускають, що втрати становлять 50% або більше і тоді треба обирати двигун, який забезпечить принаймні вдвічі більшу потужність, ніж потрібно.

Під час описаного методу вибору двигуна припущено, що тертя між колесом і поверхнею достатньо, щоб не було ковзання. Насправді, більшість коліс обертаються, коли робот запускається на повній швидкості на слизькій поверхні. У деяких випадках це може стати справжньою проблемою. Одне з рішень у цій ситуації – вибрати інші колеса. Або ще краще – збільшити швидкість двигуна замість того, щоб запускати його на повній швидкості.

Двигун може видавати набагато більший крутний момент, ніж може витримати редуктор або підшипники. На деяких двигунах можливо побачити номінальне навантаження. Це максимальна вага, яку виробник рекомендує підтримувати на вихідному валу. Іншим фактором є граничний крутний момент редуктора. Він може бути меншим, ніж двигун може фактично забезпечити. Один із способів визначити якість двигуна – це оцінити шум, який він видає під час роботи. Чим гучніший двигун, тим менш ефективним є мотор-редуктор.

Отже, загалом при виборі двигунів мобільних роботизованих платформ у більшості випадків слід прагнути до перевищення розрахункових вимог у два-три рази.

Висновки. Розглянуто нову роботизовану мобільну платформу із автономною системою стабілізації для проведення розвідувальних операцій. Встановлено, що одним з найпоширеніших типів двигунів, які використовуються в мобільних наземних роботах, є електричні двигуни. Вибір двигуна для мобільного робота залежить від типу робота, його завдань, потреби в енергії, швидкості руху, місцевості, на якій робот буде використовуватися, та інших факторів. Описано концепцію підбору двигунів мобільної роботизованої платформи із автономною системою стабілізації. Встановлено, що при виборі двигунів мобільних роботизованих платформ у більшості випадків слід прагнути до перевищення розрахункових вимог по потужності у два-три рази.

Список літератури:

1. Son Kuswadi, Mohamad Nasyir Tamara, Dwi Nugroho H. W. Development of Gun Turret Drive Stabilization System with a Microcontroller and Implementation on a Model Tank. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2014. Vol. 555. pp. 217-221.
2. Nasyir Moh T., Nurhadi H., Pramujati B., Pitowarno E. Control Simulation of An Automatic Turret Gun Based on Force Control Method. *Proceeding of INAGENTSYS*, August 19-21, 2014, Bandung, Indonesia.
3. Huaqing Zheng, Xiaoting Rui, Jianshu Zhang, Junjie Gu, Shujun Zhang. Nonlinear motor-mechanism coupling tank gun control system based on adaptive radial basis function neural network optimized computed torque control. *ISA Transactions*. 2022. Vol. 131(5). DOI: 10.1109/ICIECS.2015.7193127
4. Peter Simon Sapaty. Military Robotics: Latest Trends and Spatial Grasp Solutions. (*IJARAI*) *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, Vol. 4, No.4, 2015. pp. 9-18.
5. P. Sapaty. The World as an Integral Distributed Brain under Spatial Grasp Paradigm. *Book chapter in Intelligent Systems for Science and Information*, Springer, Feb 4, 2014.
6. R. Karthikeyan; S. Karthik; Prasanna Vishal TR; S. Vignesh. Snitch: Design and development of a mobile robot for surveillance and reconnaissance. *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., Безвесільна О.М. Новий прецизійний чутливий елемент автоматизованої системи стабілізації озброєння: монографія з грифом Державного університету «Житомирська політехніка». 2022. 272 с.
8. А.Г. Ткачук, О.М. Безвесільна, А.А. Гуменюк, В.М. Янчук, І.В. Крижанівська. Дослідження основних напрямків розвитку сучасних системи стабілізації озброєння. *Науковий журнал «Технічна інженерія»*. 2020. Вип. 2(86). С. 73-80.
9. Ткачук А. Г., Безвесільна О. М., Бондарчук В. М., Крижанівська І. В. Проектування стабілізованої платформи інформаційно-виміральної системи для проведення розвідувальних операцій. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*, №2, 2022. С. 141-145.
10. Ткачук А.Г. Градууювальна характеристика чутливого елемента системи стабілізації оптичних пристроїв на базі роботизованої платформи. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72). № 5. С. 159-163.
11. Neal A.J. Tips for selecting DC motors for your mobile robot. *SERVO*. 2010. Vol. 1. pp. 33-37.

Tkachuk A.H. THE ENGINE SELECTION CONCEPT OF A MOBILE ROBOTIC PLATFORM WITH AN AUTONOMOUS STABILIZATION SYSTEM

A description of a new robotic mobile platform with an autonomous stabilization system for reconnaissance operations is provided. The most common tasks of military mobile robots have been found to be used for reconnaissance, bomb disposal, and combat operations. It has been announced that the engines of mobile robots differ depending on the type of robot and its tasks. One of the most common types of motors used in mobile work are electric motors. They work on an electric charge and have a low level of noise and emissions. This makes them an ideal choice for robots that require quiet and environmentally friendly movement. In general, the choice of engine for a mobile robot depends on the type of robot, its tasks, energy requirements, speed of movement, the terrain on which the robot will be used, and other factors. It was determined that an important aspect of choosing an engine is ensuring the reliability and safety of the robot itself during its movement. Therefore, the choice of the engine also depends on the ability to control the movement of the robot and its stability on different surfaces. The concept of selecting engines for a mobile robotic platform with an autonomous stabilization system is described. When choosing DC motors, it is necessary to understand some basic physical laws that will affect the mobile robot. For example: force, weight, mass, torque, acceleration and speed, as well as the relationship between them. It has been determined that the motor can produce much more torque than the gearbox or bearings can handle. Another significant influencing factor is the limiting torque of the gearbox. It may be less than the engine can actually provide. That is why it is established that the power losses of the engines are 50% or more and then it is necessary to choose an engine that will provide at least twice as much power as required.

Key words: mobile robot, robotic platform, engine, power, precision, stabilization.