

УДК 355/359/623.41

І. Б. Чепков,*доктор технічних наук, професор, начальник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, полковник,***О. П. Григор'єв,***кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник Військової академії
(м. Одеса),***В. Т. Беліков,***кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник
Військової академії (м. Одеса), заслужений винахідник
України,***С. С. Ковалішин,***начальник науково-дослідної лабораторії
Військової академії (м. Одеса), підполковник*

Роль, місце та принципи побудови тилових наземних роботизованих комплексів під час виконання заходів матеріального забезпечення військ у зоні бойових дій

Стаття продовжує тематику авторів, присвячену застосуванню наземних роботизованих комплексів у Сухопутних військах Збройних Сил України. Запропонована конструкція дистанційно-керованої платформи підвищеної прохідності наземних роботизованих комплексів для транспортування військових вантажів безпосередньо в зону бойових дій.

Ключові слова: матеріальне забезпечення військ, наземні роботизовані комплекси (НРК), колісний рушій, модульне виконання, напівеліптичне коромисло, приховане пересування, постійний магніт, графенові акумулятори.

© І. Б. Чепков, О. П. Григор'єв, В. Т. Беліков,
С. С. Ковалішин, 2016

Одним з основних завдань тилового забезпечення частин і підрозділів Сухопутних військ у зоні ведення бойових дій є надійне постачання витратних матеріалів, обладнання, зброї та боеприпасів. У бою виникає потреба в постійному поповненні таким майном військ безпосередньо на бойових позиціях. У складних умовах бою доставка традиційними видами транспорту, зокрема автомобільним, може бути неможливою або недоцільною у зв'язку з імовірними втратами особового складу й вантажу за маршрутом пересування, оскільки великі габарити автомобіля, шум його двигуна дають противникові можливість виявити і знищити його на маршруті заздалегідь, ще до того як автомобіль з вантажем досягне місця призначення, результатом чого стане втрата й майна, й особового складу, котрий його супроводжує.

У таких умовах на загрозованих ділянках маршруту доставку вантажу доцільно покласти на малогабаритні безшумні безекіпажні наземні роботизовані комплекси (НРК).

НРК здатні рухатися не лише дорогами, а й пересіченою місцевістю, до того ж досить приховано від вогневого ураження противника. Цьому сприяють відносно невеликі габарити, потужні рушії, скритність пересування і відповідний камуфляж.

Наявність елементів штучного інтелекту, можливість діяти на певній відстані від пункту управління самостійно або дистанційно за допомогою оператора, наявність автономної навігаційної системи й адаптація до рельєфу місцевості вигідно відрізняють НРК від традиційних транспортних засобів, особливо під час їх застосування у складних умовах на полі бою. Адаптація до рельєфу місцевості сприяє організації доставки вантажу до пункту призначення різними маршрутами декількома НРК одночасно. Менша вага одноразового завантаження НРК порівняно з автомобілем компенсується багатократним використанням одного й того самого НРК.

Розрахунки показують, що НРК підвищеної прохідності, з базовою шестиколісною платформою за швидкості 10–12 км/год. здатні доставити вантаж вагою 450 кг на відстань 2–3 км за 12–20 хвилин і після розвантаження за 8–10 хвилин повернутися для повторного рейсу.

Одним з варіантів безпечної доставки вантажу безпосередньо на передову є організація комплексного використання автомобіля та НРК, коли автомобіль виконує доставку в зоні безпеки, а подальше завдання виконує НРК, який, до того ж, повинен мати у своєму складі вантажно-розвантажувальне обладнання.

В умовах військових конфліктів, гібридних війн, антитерористичних операцій виникає потреба в асиметричних діях, зокрема в застосуванні невеликих груп військових підрозділів для виконання різних бойових завдань, а саме: патрулювання, супроводження колон на марші, автономних дій у засідці та в інших нестандартних ситуаціях, у яких складно виконувати їх матеріальне забезпечення. Із цих причин необхідно мати на озброєнні

малогабаритні мобільні НРК, здатні виконувати доставку невеликої кількості боєприпасів, їжі, питної води, засобів медичної допомоги. У деяких випадках вони можуть додаватися відділенню військовослужбовців для транспортування їхньої екіпіровки.

Складність, різноманітність і мінливість функцій, які доцільно покладати на транспортні НРК ведуть, з одного боку, до розширення їх номенклатури, а з другого, як правило, – до одноразового використання окремого зразка. Очевидно, що це нерентабельно. Тому в основу створення НРК мають бути покладені два принципи:

- функціональна і конструктивна уніфікація на основі модульної побудови;
- відповідність тактико-технічних характеристик зразка якомога ширшому спектру умов бойового застосування.

Базова конструкція транспортної платформи НРК повинна забезпечити високу прохідність, достатню швидкість пересування дорогами й пересіченою місцевістю, можливість подолання перешкод, мати велику маневреність, зокрема можливість розвертання на місці, та достатній запас ходу за відповідної вантажопідйомності.

Отже, на наш погляд, для виконання всіх заходів матеріального забезпечення підрозділів, які перебувають у зоні бойових дій противника, достатньо мати три зазначені нижче типи НРК з базовою платформою підвищеної прохідності:

НРК-300 – призначений для доставки майна, боєприпасів, пально-мастильних матеріалів підрозділам, які перебувають у зоні вогневої дії противника. Корисний вантаж – 300–350 кг, відстань доставки – 3–4 км без дозаправки, швидкість руху по твердому ґрунту – до 15 км/год., наявність допоміжного обладнання для автоматизованого завантаження і розвантаження. Такий НРК-300 слід розглядати як доповнення автомобільного транспорту, особливо в безпечних зонах вогневого впливу;

НРК-150 – призначений для транспортування вантажу (екіпіровки) відділення військовослужбовців на марші, а також доставки невеликих вантажів на бойові позиції, евакуації з поля бою поранених тощо. Корисний вантаж – 100–150 кг, віддаленість комплексу від колони відділення – до 100 м, швидкість руху за колоною – до 5 км/год. Система управління НРК-150 має забезпечувати такі режими роботи: дистанційне управління разом з колоною; управління голосовими командами; автономне управління на коротких відстанях за заданими траєкторіями і координатами;

НРК-50 – призначений для доставки продовольства (води, їжі), ліків, боєприпасів, гранат, стрілецької зброї невеликій групі військовослужбовців, які перебувають у засідці, бліндажі, на блокпосту. Корисний вантаж – до 50 кг, загальна вага комплексу – до 120 кг, віддаленість комплексу від оператора – до 1000 м, орієнтовні габарити – $1,0 \times 0,5 \times 0,6$ м.

Вважаємо за доцільне спочатку створити базовий зразок транспортної платформи підвищеної прохідності для НРК, яка була би здатна перевозити корисні вантажі вагою 300–350 кг у складних умовах місцевості. В основу конструкції такої платформи має бути закладений блочно-модульний принцип [1], завдяки якому з'явиться можливість формування безлічі варіантів зразків НРК для застосування за різним призначенням та в різних умовах місцевості.

Очевидно, що тільки на основі цього принципу конструктивної побудови НРК можна забезпечити надійне функціонування роботизованих комплексів у широкому діапазоні бойових завдань.

Основну увагу при аналізі поставленої проблеми, безумовно, слід звернути на те, що практично в усіх сучасних дистанційно- і самокерованих транспортних засобах, призначених для оперативного виконання завдань високої складності в особливо скрутних кліматогеографічних умовах, до яких, безперечно, можуть бути віднесені бойові дії, застосовані тягові рушії виключно колісного типу в повнопривідному електромеханічному виконанні [2]. На користь того, що саме такий варіант конструктивного виконання тягових рушіїв є нині найбільш прогресивним технічним вирішенням цього питання, переконливо свідчить не лише передовий зарубіжний досвід розробки, промислового виробництва та бойового застосування відповідної спеціалізованої військової транспортної робототехніки, а й новітні тенденції її розвитку, які особливо чітко виражені при створенні дистанційно- і самокерованих транспортних платформ для дослідження космічних об'єктів, – планет, їх супутників та астероїдів, де висуваються максимальні високі вимоги до ходової частини [3].

Отже, виходячи саме із цих міркувань, можна впевнено рекомендувати для всіх НРК, які є об'єктом розгляду цієї статті, використання повнопривідних варіантів електромеханічних тягових рушіїв колісного типу.

Кінематика відомих систем колісних рушіїв транспортних засобів здатна забезпечити надійне подолання перешкод пересіченої місцевості лише завдяки великим діаметрам їх опорно-привідних коліс, як мінімум порівнянним з висотами перешкод, що мають бути подолані. На жаль, використання такого способу підвищення прохідності в запропонованих нами НРК, які в обов'язковому порядку слід реалізувати як малопомітні об'єкти, здатні гарантувати приховану доставку військових вантажів у підрозділи, які перебувають у безпосередньому бойовому контакті з противником, є технічно неможливим. Отже, мають бути запропоновані такі технічні рішення модульного типу, на основі яких можна усунути діалектичну обумовленість прямої залежності прохідності транспортного засобу від діаметра опорних коліс рушія.

Для цього, по-перше, варто використати розроблений нами раніше принцип застосування автономних тягових функціональних блоків-модулів для робототехнічних платформ військового призначення [4]. По-друге, слід

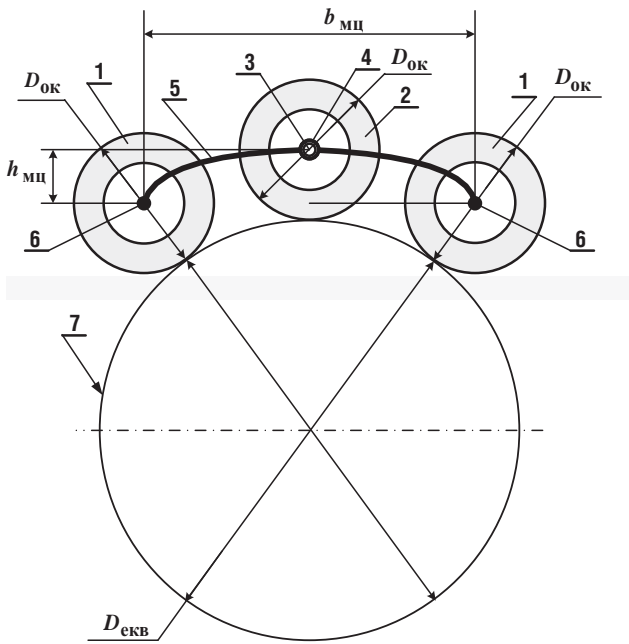


Рис. 1. Розрахункова схема кінематики автономного функціонального блока-модуля тягового рушія платформи НРК

запропонувати такий спосіб конструктивного вдосконалення подібних функціональних блоків-модулів, який дає можливість на базі опорно-привідних коліс тягового рушія з діаметрами, що не перевищують 300–350 мм, досягти потенціалу подолання висот природних і штучних дорожніх перешкод, доступний тяговим колісним рушіям, забезпеченим опорно-привідними колесами з діаметрами від 900 мм і вище.

На *рисунку 1* представлена кінематична схема автономного тягового функціонального блока-модуля для робототехнічних платформ військового призначення, який забезпечує підвищений ступінь подолання природних і штучних перешкод, незважаючи на різке обмежен-

ня величин зовнішніх діаметрів опорно-привідних коліс. Він складається з трьох активних опорно-привідних коліс 1 і 2 діаметрами D_{OK} , нерухомі осі яких розміщені у вершинах трикутника з горизонтальною основою таким чином, що на рівній дорозі в контакт з ґрунтом перебувають тільки два крайні колеса 1. Колесо 2 розміщене у вершині вказаного трикутника. Симетрично по обидва боки верхнього опорного колеса 2 на його осі в центральних втулках 4 закріплені два підшипники кочення. До них жорстко прикріплені вершини двох напівеліптичних амортизаційних коромисел 5, які мають пружинні властивості. До обох кінців напівеліптичних коромисел 5 прикріплені нерухомі горизонтальні осі 6 обох нижніх опорних коліс 1.

Закріплення автономного тягового функціонального блока-модуля на платформі НРК зроблене за допомогою монтажного вузла фіксації, показаного нижче на *рисунку 2*.

На *рисунку 1* позначені:

$b_{MЦ}$ – довжина основи рівнобедреного трикутника, тобто найкоротша відстань між осями опорних коліс 1;
 $h_{MЦ}$ – висота вказаного рівнобедреного трикутника;
 D_{EKB} – діаметр кола розрахункового опорного колеса 7, яке еквівалентне по прохідності автономному тяговому функціональному блоку-модулю НРК, представленому на *рисунку 1*.

Якщо величини D_{OK} , $b_{MЦ}$ можуть бути задані заздалегідь, виходячи з типорозмірних габаритів НРК, то значення $h_{MЦ}$, що визначає розміри гнучких коромисел 5, може бути розраховане для кожного D_{EKB} шляхом розв'язання квадратного рівняння

$$h_{MЦ}^2 - 2\left(\frac{D_{EKB}}{2} + \frac{D_{OK}}{2}\right)h_{MЦ} + \frac{b_{MЦ}^2}{4} = 0, \quad (1)$$

отриманого на підставі аналізу простих геометричних співвідношень *рисунку 1*.

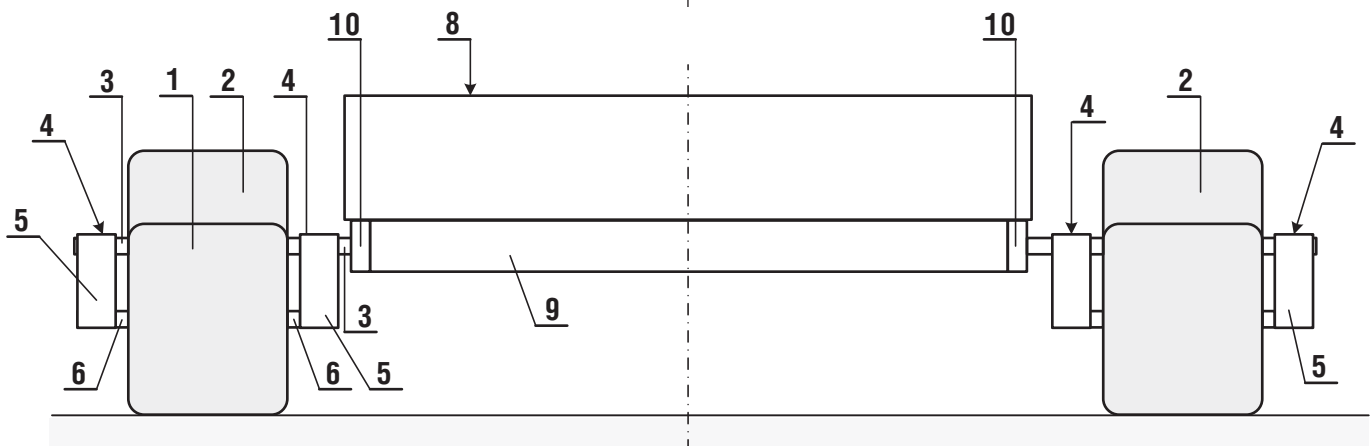


Рис. 2. Платформа НРК у зборі з комплектом із чотирьох автономних функціональних блоків-модулів тягового рушія

При цьому для подальших конструктивних рішень необхідно враховувати тільки менше з двох значень квадратного кореня, оскільки саме воно цілковито відповідає механіці кінематичної схеми автономного тягового функціонального блока-модуля платформи НРК, представленої на *рисунку 1*.

Так, для $D_{OK} = 300$ мм; $b_{MC} = 710$ мм; $D_{EKB} = 900$ мм величина $h_{MC} = 116,5$ мм, тобто розміри осей еліпса напівеліптичного коромисла 5 складуть

$$\begin{aligned} a &= 710 \text{ мм;} \\ b &= 233 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Як показано у [5], в автономних тягових функціональних блоках-модулях транспортних платформ НРК кожне з його опорно-привідних коліс 1 і 2 забезпечене вбудованим в обід форсованим електродвигуном оберненого виконання, має високу перевантажувальну здатність і широкий діапазон плавного регулювання швидкості обертання. Високу перевантажувальну здатність забезпечують рідкоземельні постійні магніти, які створюють основне магнітне поле тягового двигуна [6]. Широкий діапазон плавного регулювання швидкості досягнутий на основі застосування сучасних систем автоматичного управління приводом [7, 8].

На *рисунку 2* у вигляді спереду показана платформа 8 НРК у зборі з комплектом автономних тягових функціональних блоків-модулів, кінематика кожного з яких повністю відповідає конструкції, представленої на *рисунку 1*.

ку 1. Мінімальний комплект, що встановлюється на одну платформу, складається із чотирьох модулів, – по два симетрично з кожної бічної сторони платформи НРК. У нижній частині 9 платформ у настановних пазах, які мають магнітоелектричні фіксатори, закріплені монтажні вузли 10 фіксації кожного з автономних тягових функціональних блоків-модулів.

Крім того, методом магнітоелектричної фіксації на верхній площині платформи 8 у разі потреби може бути закріплене спеціалізоване роботизоване функціональне устаткування автоматичного навантаження і розвантаження військових вантажів, котрі транспортуються.

На *рисунках 3 і 4* у пофазному вигляді показана механіка подолання штучної прямокутної дорожньої перешкоди заввишки 1,0 м платформою НРК, забезпеченою тяговим рушієм із чотирьох колісних автономних тягових функціональних блоків-модулів з діаметрами D_{OK} опорно-привідних коліс, рівними 300 мм. На *рисунках 3б, 4б і 4г* показані моменти підключення до руху платформи 8 НРК верхніх опорних коліс 2 передніх і задніх автономних функціональних блоків-модулів її тягового рушія.

При зовнішньому діаметрі опорного колеса 300 мм розрахунковий внутрішній діаметр статора вбудованого в колесо привідного двигуна оберненої конструкції складе 147 мм при загальному повітряному проміжку між статором і ротором 3,0 мм.

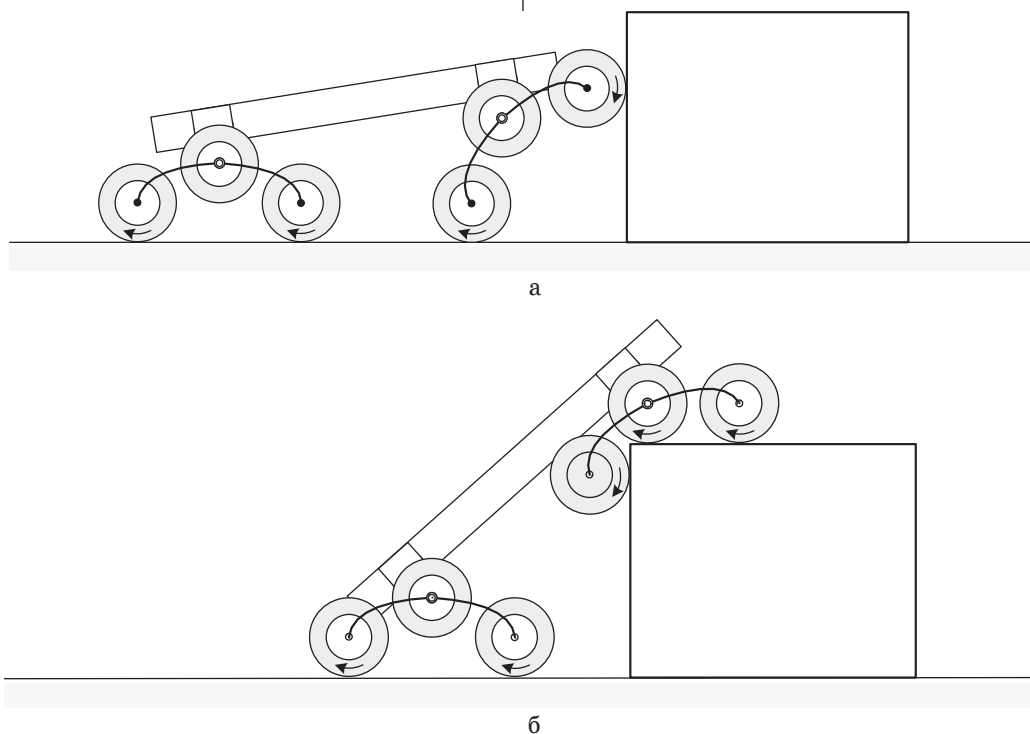


Рис. 3. Два початкові етапи фази подолання штучної дорожньої перешкоди заввишки 1 м платформою НРК з опорними колесами діаметром 0,3 м:

- а) усі чотири автономні функціональні блоки-модулі тягового рушія мають контакт із ґрунтом;
б) на ґрунт спираються тільки два задні автономні функціональні блоки-модулі

Тоді активна площа постійних магнітів, закріплених на внутрішній поверхні ротора, вбудованого в обід опорного колеса, може бути розрахована за формулою

$$S_{AM} = \pi D_{P2} l_{CT} \alpha_{\delta} = \pi \times 15 \times 12 \times 0,75 = 424 \text{ см}^2, \quad (2)$$

де D_{P2} – внутрішній діаметр ротора по поверхні постійних магнітів збудження основного магнітного поля, см;

l_{CT} – осьова активна довжина магнітопроводу статора, см;

α_{δ} – коефіцієнт розрахункової полюсної дуги, рівний 0,75.

Повна величина зусилля F_{EM} ротора, яке розвиває кожен квадратний сантиметр його активній поверхні S_{AM} , дорівнює

$$F_{EM} = B_{\delta} I_{\Sigma IT} l_{IT} = 0,9 \times 300 \times 0,01 = 2,7 \text{ Н}. \quad (3)$$

Тут B_{δ} – розрахункове значення магнітної індукції в повітряному проміжку привідного електродвигуна опорного колеса, Тл;

$I_{\Sigma IT}$ – сумарне питоме струмове навантаження, яке припадає на 1 см довжини кола якоря двигуна, А;

l_{IT} – розрахункова питома довжина активного провідника обмотки якоря, м.

Виходячи із цього, очевидно, що питоме електромагнітне зусилля F_{EMIT} , яке розвивається кожним квадратним сантиметром активної поверхні ротора, дорівнює

$$F_{EMIT} = 2,7 \text{ Н/см}^2. \quad (4)$$

Отже, сумарне номінальне тягове електромагнітне зусилля, яке створює зовнішній ротор привідного двигуна, становитиме:

$$F_{P\Sigma} = F_{EMIT} S_{AM} = 2,7 \times 424 = 1145 \text{ Н}. \quad (5)$$

Відповідно, зусилля, яке здатне в цих умовах розвинути опорно-привідне колесо тягового рушія при його механічній дії на ґрунт, дорівнює

$$F_{OK\Sigma} = F_{P\Sigma} \frac{D_{P2}}{D_{OK}} = 1145 \times \frac{15}{30} = 572,5 \text{ Н}. \quad (6)$$

Тоді обертальний електромагнітний момент двигуна складе

$$M_{\Sigma M} = F_{OK\Sigma} \frac{D_{OK}}{2} = 572,5 \times \frac{0,3}{2} = 85,88 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (7)$$

Отже, повнопривідний електромеханічний тяговий рушій платформи НРК, який є предметом розгляду цієї статті, здатний розвинути номінальне сумарне зусилля при своєму механічному контакті з ґрунтом, яке дорівнює

$$F_{TP\Sigma} = N_{OK} F_{OK\Sigma} = 8 \times 572,5 = 4580 \text{ Н}, \quad (8)$$

де N_{OK} – повна кількість опорно-привідних коліс тягового рушія платформи НРК, які максимальний час контактують із ґрунтом.

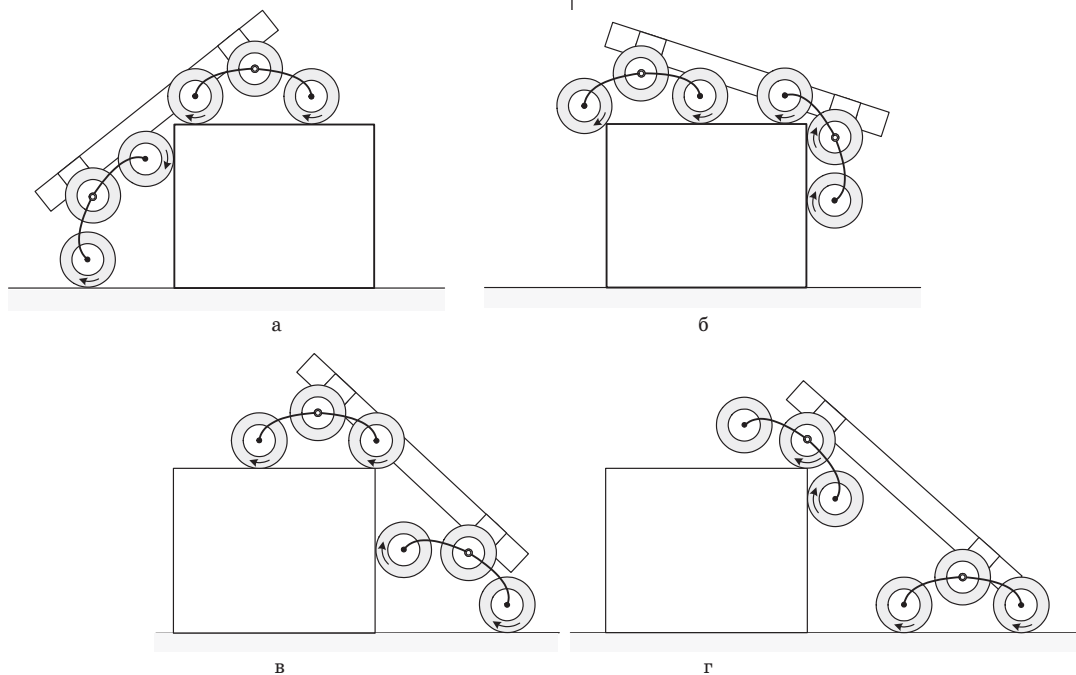


Рис. 4. Проміжні й остаточні етапи подолання штучної дорожньої перешкоди заввишки 1 м платформою НРК з опорними колесами діаметром 0,3 м:

- а) два передні автономні функціональні блоки-модулі тягового рушія повністю перебувають на верхній площині перешкоди;
- б) усі чотири автономні функціональні блоки-модулі перебувають у механічному контакті з поверхнею штучної перешкоди;
- в) передні опорні колеса переднього автономного функціонального блока-модуля перейшли на механічний контакт із ґрунтом зі зворотного боку штучної перешкоди;
- г) передній автономний функціональний блок-модуль повністю перейшов на ґрунт зі зворотного боку штучної перешкоди

При пересуванні НРК-300, наприклад, на рівній дорозі без перешкод зусилля опору може бути розраховане за формулою

$$F_{OP} = m_{НРК} g f_{ТРК} = 550 \times 9,81 \times 0,05 = 269,8 \text{ Н.} \quad (9)$$

У формулі (9) $m_{НРК}$ – загальна маса НРК-300, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

f – коефіцієнт тертя кочення.

Отже, зусилля опору пересуванню НРК-300 на рівній дорозі без перешкод практично у **сімнадцять** разів нижче за номінальне зусилля, яке може бути розвинуте тяговим рушієм, запропонований вище. А з урахуванням того, що застосування в усіх тягових електродвигунах повнопривідного електромеханічного рушія платформи НРК високоенергетичних постійних магнітів забезпечує можливість досягнення на практиці, як мінімум, шести-семикратних перевантажень по струму і обертовому моменту [7, 8], подолання природних і штучних дорожніх перешкод заввишки порядку 1,0–1,5 м стає цілком досяжним.

Крім того, поява електрохімічних джерел струму у вигляді графено-полімерних акумуляторів, що мають приблизно втричі вищі питомі показники порівняно з літійово-іонними і є на 70% дешевшими, свідчить про нагальну необхідність проведення відповідних НДДКР в Україні в інтересах наших Збройних Сил.

Перелік літератури

1. *Верхоятницький П. Д.* Справочник по модульному конструюванню радіоелектронної апаратури / П. Д. Верхоятницький, В. С. Латинский. – Ленинград : Судостроение, 1983. – 232 с.
2. Оборонная компания QinetiQ (Великобритания) по заказу DARPA (США) разработает новое мотор-колесо для будущей военной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.darpa.mil>.
3. Kinematics of the Rover Mars-2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nasa.gov>.
4. *Чепков І. Б., Григор'єв О. П., Беліков В. Т., Ковалішин С. С.* Контрроботи – військові роботизовані машини для протидії бойовій робототехніці противника / І. Б. Чепков, О. П. Григор'єв, В. Т. Беліков, С. С. Ковалішин // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 56–63.
5. Наземна військова модульна робототехнічна машина-контрробот для протидії бойовій робототехніці противника. Патент України № 103147. МПК (2013.01) F41H 7/00 / О. П. Григор'єв, В. Т. Беліков, О. В. Гуляк, Ю. Г. Даник, І. Б. Чепков, С. С. Ковалішин ; заявл. 17/05/2013; публ. 10.09.2013, Бюл. № 17. – 28 с. іл.
6. *Преображенский А. А.* Магнитные материалы и элементы / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард. – М. : Высшая школа, 1986. – 352 с.
7. *Пивняк Г. Г.* Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией / Г. Г. Пивняк, А. В. Волков. – Днепропетровск : НГУ, 2006. – 470 с.
8. Преобразователи частоты Altivar 71 // Schneider Electric. – 2009. – 332 с.