

Ю. М. Черевко<sup>1</sup>  
Р. В. Зінько<sup>2</sup>  
Ю. Ю. Скварок<sup>3</sup>  
А. П. Поляков<sup>4</sup>

## РЕЖИМИ РОБОТИ МАНІПУЛЯТОРА РЕМОНТНО-ЕВАКУАЦІЙНОЇ МАШИНИ

<sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ ім. Гетьмана Петра Сагайдачного

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

<sup>3</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка

<sup>4</sup>Вінницький національний технічний університет

*При сучасних способах ведення бойових дій система технічної підтримки військ має важливе значення. Одним із шляхів підвищення ефективності функціонування системи технічної підтримки військ є використання броньованих ремонтно-евакуаційних машин.*

*Підвищити технічні можливості броньованих ремонтно-евакуаційних машин можна шляхом модернізації наявних зразків або створенням якісно нових машин, які б враховували особливості використання та характерні бойові uszkodження сучасного озброєння і військової техніки, тип рушія військової машини, її масо-габаритні та інші характеристики.*

*Удосконалення і модернізація броньованих ремонтно-евакуаційних машин дає змогу забезпечувати їх ефективність. Високу ефективність броньовані ремонтно-евакуаційні машини демонструють, виконуючи операції з витягування чи підйому uszkodженої або застряглої, заблокованої, загрузлої, затонулої військової техніки. У цих випадках використовується сила тяги власного двигуна привода рушія броньованої ремонтно-евакуаційної машини або її власні спеціалізовані засоби евакуації: кранові лебідки, поліспасти системи, кранові стріли разом із силовими гідроциліндрами їх привода, важелі, іншого роду евакуаційне устаткування.*

*Особливості роботи підйомно-навантажувального обладнання полягають у таких режимах роботи: підйом вантажів із твердої поверхні, відрив вантажу від в'язкої поверхні, волочіння під різними кутами до опорної поверхні, застрягання.*

*Найбільш складним щодо динамічних перевантажень усіх елементів гідравлічного маніпулятора є режим часткового занурення та щільного залипання вантажу у глинистому ґрунті, коли після відриву від нього вантаж під дією сил пружних деформацій підвісу підлітає до висоти значного послаблення підвісу і, досягнувши верхньої точки, де швидкість його дорівнює нулю, падає вниз на пружному підвісі. При цьому спостерігається трикратне перевантаження ланок маніпулятора.*

**Ключові слова:** броньовані ремонтно-евакуаційні машини, маніпулятор, режими роботи, вантаж, в'язка поверхня.

### Вступ

Сучасні мобільні комплекси рухомих засобів відновлення озброєння і військової техніки, які відносять до системи технічної підтримки військ, повинні відповідати інтенсивному розвитку засобів і способів ведення бойових дій.

Підвищити технічні можливості наявних броньованих ремонтно-евакуаційних машин (БРЕМ) можна шляхом їх модернізації або створення якісно нових зразків, які б враховували особливості використання та характерні бойові uszkodження сучасного озброєння і військової техніки, тип рушія військової машини, масо-габаритні та інші її характеристики.

Високу ефективність БРЕМ демонструють, виконуючи операції із витягування чи підйому uszkodженої або застряглої, заблокованої, загрузлої, затонулої військової техніки. У цих випадках використовується сила тяги власного двигуна привода рушія БРЕМ або її власні спеціалізовані засоби евакуації: кранові лебідки, поліспасти системи, кранові стріли-маніпулятори разом із силовими гідроциліндрами їх привода, важелі, іншого роду евакуаційне устаткування.

На сьогодні у ЗСУ використовуються БРЕМ-1, БМР-2, БТС-4, ІМР-2, БРЕМ-4РМ; БРЕМ-84 «Атлет», БРЕМ-80У «Лев». Також ЗСУ отримали БРЕМ Bergpanzer від Німеччини та американські М88А2 Hercules (рис. 1).

Застосування таких машин має свої особливості, пов'язані з умовами і специфікою робіт, в яких вони задіяні. Тому актуальним є їх врахування при забезпеченні правильної експлуатації, вдосконаленні конструкції її агрегатів чи розробці нових зразків.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Ремонтно-евакуаційні машини: а) BREM-4PM; б) BREM-84 «Атлет»; в) BREM армії Німеччини Bergepanzer-2; г) BREM армії США HERCULES

### Аналіз стану проблеми

Відомо, що на початку і закінченні робочих циклів підйомно-транспортних машин їх елементи зазнають пікових навантажень [1–3].

У ЗСУ BREM працюють у тяжких умовах, де, крім перехідних процесів саме в підйомно-транспортних механізмах, умови експлуатації є більш складними [4–7].

Ефективним способом евакуації є спосіб підйому. У випадку евакуації загрузлої мобільної військової техніки способом її підйому за допомогою BREM кран намагається спочатку звільнити машину з болота, в якому вона загрузла. В певний момент часу машина, яку евакуюють, ривком звільняється, а в елементах крана BREM виникають значні коливні динамічні навантаження, які можуть спричинити значні ушкодження самого крана [8–10].

Крім підйому як із жорсткої, так і в'язкої поверхні, доводиться витягувати застряглу і підбиту техніку в горизонтальній площині під різними кутами [11].

Пропонуються різні спроби зменшення або запобігання таких пікових навантажень [12].

З наведеного огляду можна зробити висновок, що до типових перехідних процесів із піковими навантаженнями, які притаманні для підйомно-транспортного обладнання, у випадку використання таких машин у військовій справі накладаються додаткові особливості експлуатації. Серед них, крім підйому вантажів із твердої поверхні, присутні режими роботи з відривом вантажу від в'язкої поверхні, волочіння під різними кутами до опорної поверхні, застрягання. Такі режими експлуатації потребують додаткового дослідження.

### Мета статті

На прикладі роботи BREM, що має силовий гідроциліндр маніпулятора та основну лебідку для евакуації загрузлої техніки, дослідити відрив загрузлого вантажу від опори з подальшим його підйомом; записати залежності із визначення, що виникають у випадку пришвидшень вантажу, динамічних зусиль у вільних ділянках тросу основної лебідки, у штоці силового гідроциліндра.

## Основний матеріал

Відомо, що найбільш важкою, у разі виникнення динамічних зусиль в елементах вантажопідійомних машин, є операція підйому вантажу, яка зі свого боку пов'язана із проблемами точності позиціонування вантажу [1–2], а також навантажень у приводі підйомно-транспортної машини [3]. Ці динамічні зусилля додатково зростають, коли робоча операція з підйому вантажу виконується в режимі «підйом вантажу з підхопленням», тобто на початку виконання робочої операції з підйому вантажу елементи вантажопідійомника вже рухаються – мають не нульові швидкості. Щоб уникнути цього режиму підйому, оператор крана-маніпулятора візуально визначає момент відриву вантажу від опори, гальмує механізм підйому і лише через деякий час продовжує операцію підйому. Але момент відриву вантажу від опори можна визначити візуально лише тоді, коли вантаж розташований на жорсткій опорі. У випадку загрузлої техніки не вдається візуально визначити момент її відриву від опори. Тобто підйом загрузлої техніки завжди відбувається в режимі «підйом вантажу з підхопленням». До того ж динамічні зусилля ще зростають тому, що на загрузлу техніку діють додатково сили опору з боку опори, які миттєво зникають у момент її відриву. Крани-маніпулятори великої потужності використовують силовий гідроциліндр задля встановлення стріли крана БРЕМ під певним кутом до горизонту. Після цього вхід і вихід гідроциліндра блокуються і починає працювати основна механічна лебідка крана-маніпулятора. Саме за такою конструктивною схемою працює гусенична БРЕМ «Атлет» (рис. 2).

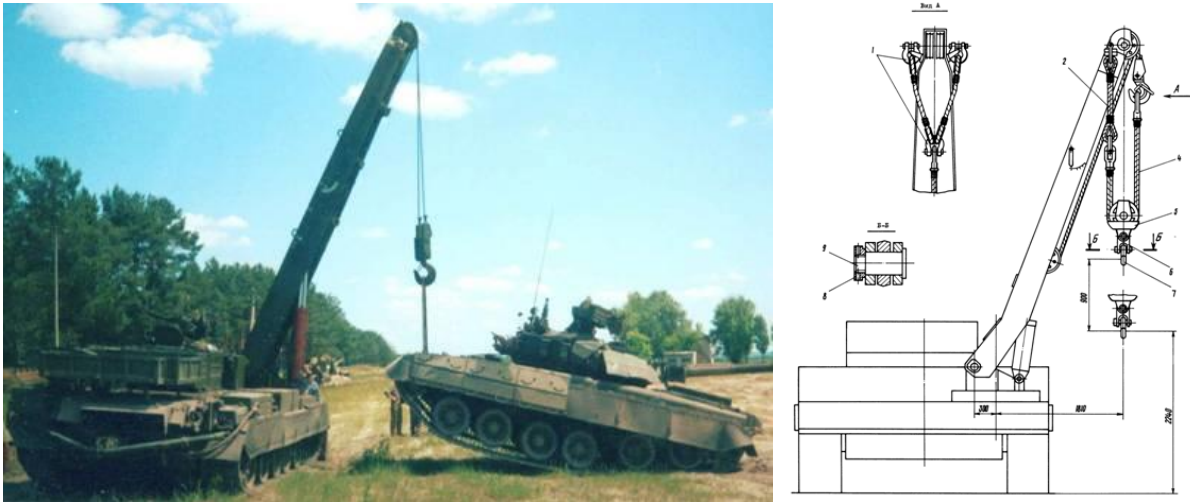


Рис. 2. Робота гусеничної БРЕМ «Атлет» з евакуації танка способом його напівпідйому за допомогою основної лебідки власного крана-маніпулятора

Математична модель БРЕМ описана в роботі [9]. Режим роботи маніпулятора при підйомі із твердої поверхні розглядався в [9–10].

Найбільш складним стосовно динамічних перевантажень усіх елементів гідрокрана є випадок часткового занурення та щільного залипання вантажу у глинистому ґрунті, коли після відриву від нього вантаж під дією сил пружних деформацій підвісу підлітає до висоти значного прослаблення підвісу і, досягнувши верхньої точки, де швидкість його дорівнює нулю, падає вниз на пружному підвісі. Розглянемо такий випадок початку операції підйому з підхопленням частково залиплого в опорі вантажу найбільш важким у динамічному відношенні режимом (рис. 3).

На цьому рисунку позначено:  $L_n$  – вільна довжина підвісу вантажу;  $G_g$  – вага вантажу;  $c_n$  – коефіцієнт жорсткості підвісу вантажу;  $f_{ст.в}$  – статична деформація підвісу вантажу від його ваги;  $f_{мер.оп}$  – деформація підвісу вантажу при подоланні тертя з боку опори;  $F_{мер.оп}$  – сила пружних деформацій підвісу вантажу при подоланні тертя з боку опори;  $f_n$  – деформація підвісу вантажу у довільному його положенні;  $F_{н.пруж}$  – сили пружних деформацій підвісу при знаходженні вантажу у довільному його положенні;  $z_A$ ,  $z_g$ ,  $z_g^{поч}$  – координати точки  $A$  стріли гідрокрана та вантажу у довільному і початковому положеннях.

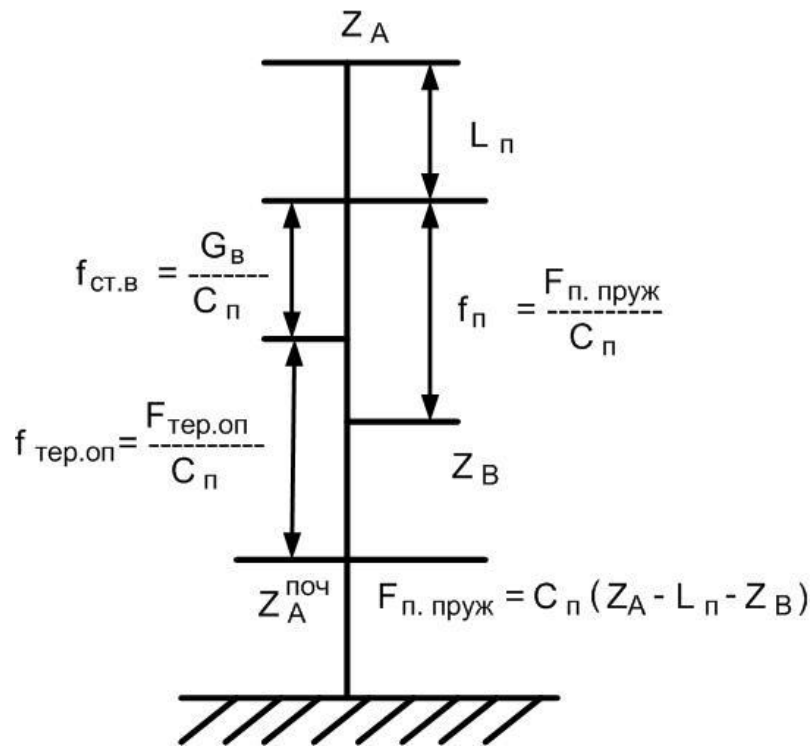


Рис. 3. Початок операції підйому з підхопленням стрілою маніпулятора вантажу, частково залиплого в опорі з глинистого ґрунту

Для дослідження режиму підйому з підхопленням частково залиплого в опорі вантажу приймалися такі значення параметрів гідросистеми і стріли маніпулятора, характеристики підвісу вантажу, самого вантажу і його опори:

ORIGIN: = 1

$C_p := 245250$ ;  $V_a := 0.0$ ;  $g := 9.81$ ;  $M_v := 250$ ;  $L_p := 3$ ;  $K_{op} := 2$ ;  $y_1 := 0$ ;  $y_2 := 0$ ;  $Alf := 0.03$

$Z_{a\_poch} := M_v \cdot \frac{g}{C_p} \cdot (1 + K_{op}) + L_p$       $Z_a(t) := Z_{a\_poch} + V_a \cdot t$

Параметри інтегрування:

$N_{1\_krok} = 1000.0$ ;  $T_{1\_kin} = 2.0$  c .

GIDROMANIPULATOR – TERTIA – ZHALIPLIJ VANTATZH.

$$Delt(u) := \frac{F_{pid}(u)}{M_v \cdot g}$$

При заданих початкових умовах і параметрах інтегрування були отримані залежності, графіки яких представлені на рисунках 4–6.

Після відриву від поверхні коливання швидкості вантажу зменшуються і на 3-й секунді стабілізуються (рис. 4). Це спостерігається і з переміщенням вантажу.

Продовження руху корпусу гідроциліндра із сталим  $F_{pid\_1}(u) = 1$  відбувається до моменту, коли сила пружних деформацій підвісу вантажу стане однаковою із вагою вантажу та силою опору підйому з боку опори  $F_{pid}(u) H$  шляхом його залипання (рис. 5). Далі зусилля після 3-ї секунди стабілізуються.

На рисунку 6 представлено зміну коефіцієнта  $k_{дин.перев} = Delt(u)$  динамічного перевантаження у часі  $t = u^{(1)}$  при відриві залиплого вантажу.

Динамічне перевантаження ланок маніпулятора:  $k_{дин.перев} = \frac{F_{пруж.п}}{G_g} = \frac{7369,8}{2452,5} = 3,005$ .

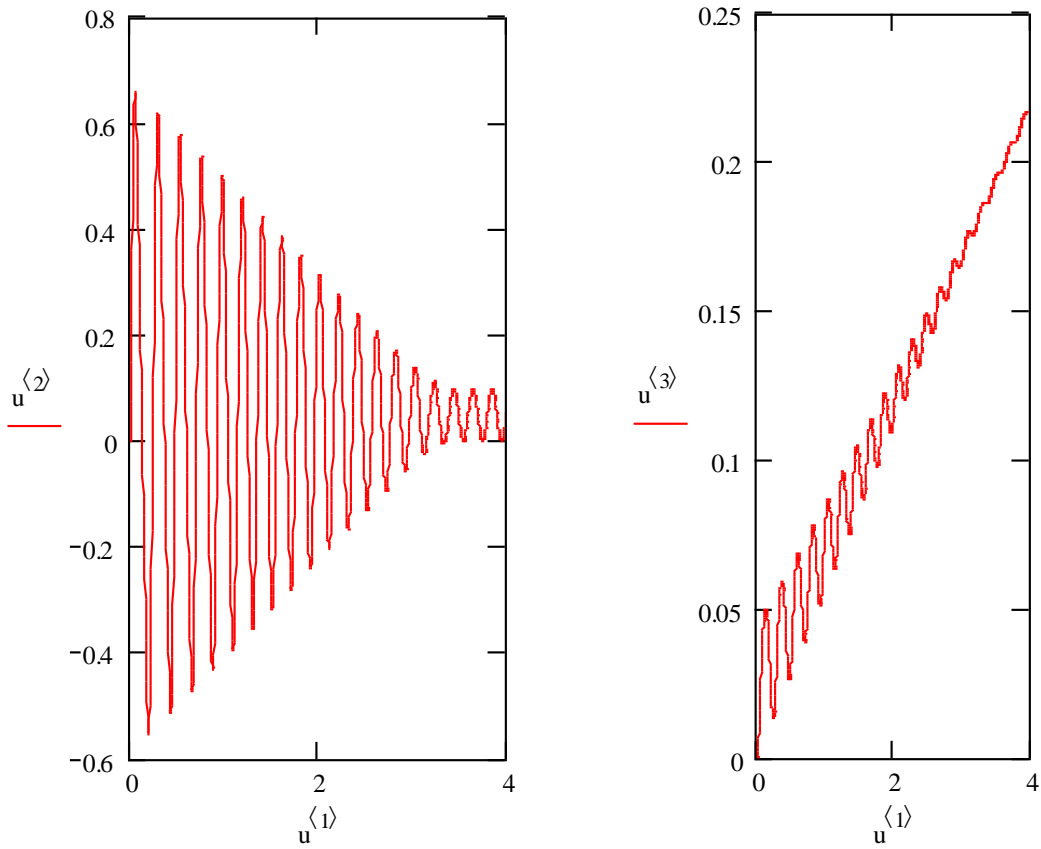


Рис. 4. Швидкість  $V_g = u^{(2)}$  м/с та переміщення  $z_g = u^{(3)}$  м вантажу з моменту  $t = t_{поч} = u^{(1)} = 0$  його відриву від опори із глинистого ґрунту

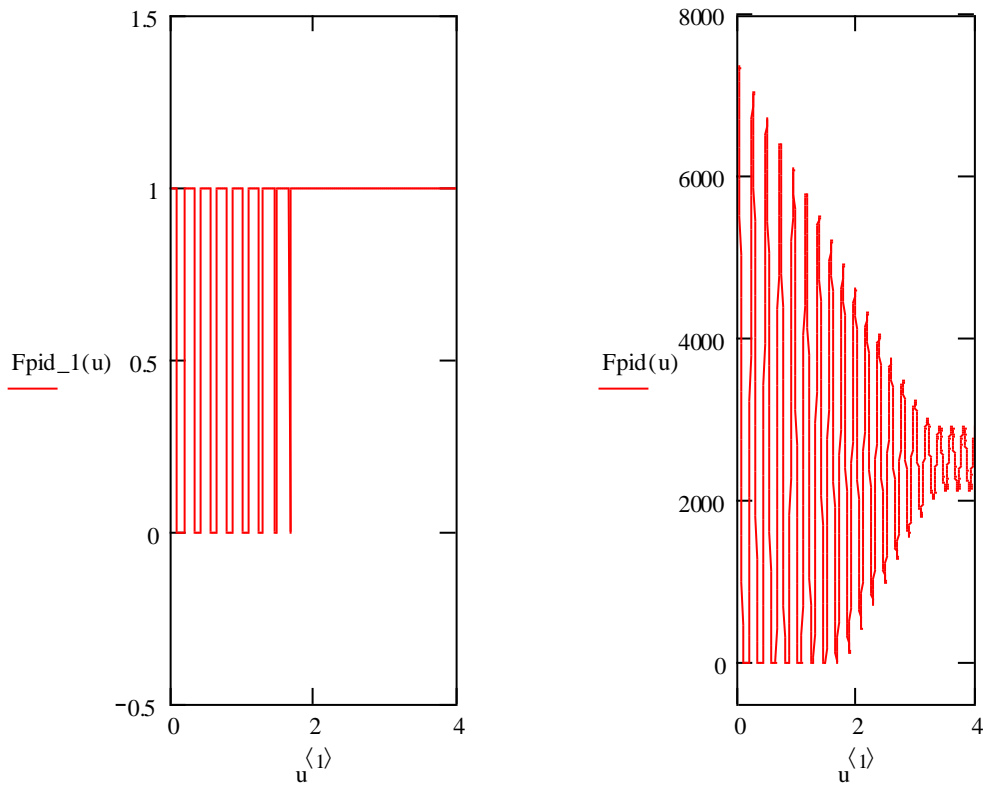


Рис. 5. Зусилля в часі  $t = u^{(1)}$  роботи  $Fpid\_1(u) = 1$  і послаблення  $Fpid\_1(u) = 0$  підвісу та пружні сили  $Fpid(u)$ , які діють у ньому

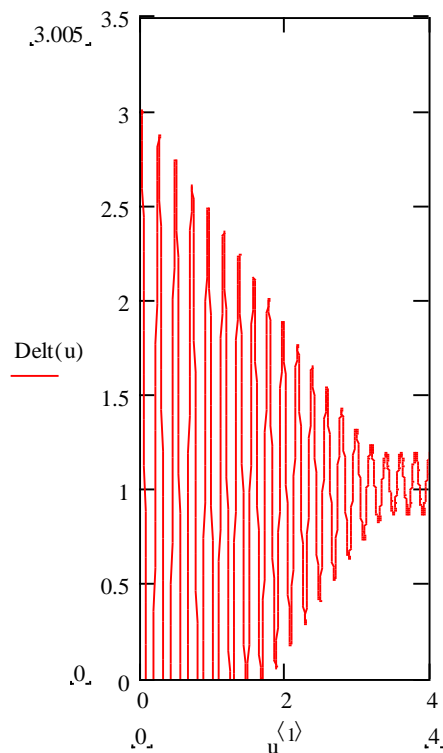


Рис. 6. Зміна коефіцієнта  $k_{\text{дин.перев}} = Delt(u)$  динамічного перевантаження у часі  $t = u^{(1)}$

### Висновок

Застосування БРЕМ має певні особливості, пов'язані з умовами і специфікою робіт, в яких вони задіяні.

Крім типових перехідних процесів із піковими навантаженнями, які притаманні для підйомно-транспортного обладнання, у разі використання БРЕМ накладаються додаткові особливості експлуатації. Серед них, крім підйому вантажів із твердої поверхні, присутні режими роботи з відривом вантажу від в'язкої поверхні, волочіння під різними кутами до опорної поверхні, застрягання.

Операція з підйому з підхопленням частково залиплого в опорі вантажу є найбільш важким у динамічному відношенні режимом підйому вантажу.

Досліджено підхоплення вантажу, частково залиплого в ґрунті. При цьому спостерігається трикратне перевантаження ланок маніпулятора.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Research of lifting equipment dynamics / Augustaitis V. et al. *Journal of vibroengineering*. 2014. Volume 16, Issue 4. P. 2082–2088.
- [2] Dynamic reaction forces of an overhead crane on lifting / Spruogis B. et al. *Transport*. 2011 Volume 26(3). P. 279–283.
- [3] Haniszewski Tomasz. Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation. *Journal of vibroengineering*. 2017, Vol. 19, Issue 1. P. 75–86.
- [4] Русіло П. О., Момот Р. А. Стан і перспективи броньованих ремонтно-евакуаційних машин. *Бойове застосування ОБТ*. 2012. № 1(6). С. 141–150.
- [5] Аналіз функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки / Овчаренко І. та ін. *Social Development and Security*. 2021. Vol. 11, No. 4. С. 177–188.
- [6] Аналіз факторів, які впливають на ефективність функціонування системи технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння / Баранов А. та ін. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки*. 2019. № 81(3). С. 281–290. DOI: 10.32453/3.v81i3.476.
- [7] Коваленко О. А. Оцінювання можливостей ремонтно-відновлюваних органів з евакуації пошкоджених зразків озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2016. № 1. С. 55–58. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2016\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2016_1_12)
- [8] Cherevko Y., Zinko R. Software for research of manipulator of repair-evacuation machine. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2018, nr 12. P. 7–14.
- [9] Черевко Ю. М., Зінько Р. В. Моделювання функціонування маніпулятора ремонтно-евакуаційної машини. *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта (ІПТК-2018): матеріали тез доповідей XIX міжнародної науково-технічної конференції* (м. Київ, 19–22 червня 2018 р.) / КПІ ім. І.Сікорського та ін. Київ: КПІ, 2018. С. 13–16.
- [10] Моделювання роботи військової евакуаційної машини / Черевко Ю. М. та ін. *Сучасні технології промислового*

комплексу–2020: VI-а Міжнародна науково-практ. конф., 8–12 вересня 2020. Херсон: ХНТУ, 2020. С. 413–415.

[11] Міщенко Я. С., Загребельний С. М. Доцільність реорганізації організаційно-штатної структури ремонтно-евакуаційних підрозділів в Сухопутних військах Збройних Сил України. *Проблеми оперативного та логістичного забезпечення складових сектору безпеки і оборони України*: тези доповідей Всеукраїнської науково-практ. конф., 09 лютого 2021. Харків, 2021. С. 213–214.

[12] Бондаренко Д. В., Врублевський І. Й. Проблеми експлуатації автомобільних стрілових кранів у якості спеціальної військової техніки. *Проблеми оперативного та логістичного забезпечення складових сектору безпеки і оборони України*: тези доповідей Всеукраїнської науково-практ. конф., 09 лютого 2021. Харків, 2021. С. 38–39.

**Черевко Юрій Миколайович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, e-mail: [cherevko\\_um@ukr.net](mailto:cherevko_um@ukr.net)

Національна академія сухопутних військ імені Гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

**Зінко Роман Володимирович** – д-р техн. наук, професор кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: [rzinko@gmail.com](mailto:rzinko@gmail.com)

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

**Скварок Юрій Юліанович** – канд. техн. наук, доцент кафедри технологічної та професійної освіти, e-mail: [y.skvarok@gmail.com](mailto:y.skvarok@gmail.com)

Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка, м. Дрогобич

**Поляков Андрій Павлович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [poliakovap61@gmail.com](mailto:poliakovap61@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Yu. Cherevko<sup>1</sup>**  
**R. Zinko<sup>2</sup>**  
**Yu. Skvarok<sup>3</sup>**  
**A. Polyakov<sup>4</sup>**

## Operation modes of the manipulator of the repair and evacuation machine

<sup>1</sup>National Academy of Ground Forces named after Hetman Petro Sahaidachny

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University

<sup>3</sup>Drohobyt State Pedagogical University named after Ivan Franko

<sup>4</sup>Vinnitsia National Technical University

*With modern methods of conducting military operations, the system of technical support of the troops is of great importance. One of the ways to increase the effectiveness of the system of technical support of troops is the use of armored repair and evacuation vehicles.*

*It is possible to increase the technical capabilities of armored repair and evacuation vehicles by modernizing existing models, or creating qualitatively new vehicles that take into account the specifics of use and characteristic combat damage of modern weapons and military equipment, the type of engine of the military vehicle, its weight and dimensions and other characteristics.*

*Improvement and modernization of armored repair and evacuation vehicles allows to ensure their effectiveness. Armored repair and evacuation vehicles demonstrate high efficiency when carrying out operations to extract or lift damaged or stuck, blocked, bogged down, sunken military equipment. In these cases, the traction force of the armored recovery vehicle's own engine is used or its own specialized means of evacuation: crane winches, polyspach systems, crane booms together with power hydraulic cylinders of their drive, levers, other evacuation equipment.*

*Features of the lifting and loading equipment include such modes of operation as lifting loads from a solid surface, detaching the load from a viscous surface, dragging at different angles to the support surface, and getting stuck.*

*The most difficult in terms of dynamic overloads of all elements of the hydraulic manipulator is the mode of partial immersion and dense sticking of the load in clay soil, when after separation from it, the load under the action of the forces of elastic deformations of the suspension flies up to the height of a significant relaxation of the suspension and reaching the upper point, where its speed is zero, falls down on an elastic suspension. At the same time, a three-fold overload of the manipulator links is observed.*

**Key words:** armored repair and evacuation vehicles, manipulator, operating modes, cargo, viscous surface.

**Cherevko Yuriy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate professor of the automobile department, e-mail: [cherevko\\_um@ukr.net](mailto:cherevko_um@ukr.net)

**Zinko Roman** – Sc. Dr. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Machine Design and Automotive Engineering, e-mail: [rzinko@gmail.com](mailto:rzinko@gmail.com)

**Skvarok Yuriy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technological and Professional Education, e-mail: [y.skvarok@gmail.com](mailto:y.skvarok@gmail.com)

**Polyakov Andriy** – Sc. Dr. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobile and Transport Management, e-mail: [poliakovap61@gmail.com](mailto:poliakovap61@gmail.com)