

## ПРОБЛЕМИ, НАПРЯМКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Мусійко В.Д.*, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

*Коваль А.Б.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Лазарук Ю.В.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, layuvo@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2019-0687

## PROBLEMS, DIRECTIONS, AND HORIZONS IN THE CREATION AND MODERNIZATION OF SPECIALIZED CONTINUOUSLY OPERATING EARTHMOVING MACHINES

*Musiiko V.D.*, Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296,

*Koval A.B.*, Ph.D. Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Lazaruk Y.V.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, layuvo@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2019-0687

## ПРОБЛЕМЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Мусийко В.Д.*, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

*Коваль А.Б.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Лазарук Ю.В.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, layuvo@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2019-0687

**Постановка проблеми.** Аналіз збройних конфліктів останніх десятиліть та ходу ведення бойових дій на території Донецької і Луганської областей свідчить, що інженерне обладнання місцевості і об'єктів для захисту особового складу, пунктів управління, озброєння і військової техніки від засобів вогневого ураження противника, створення сприятливих умов для ефективного застосування озброєння і бойової техніки та підвищення стійкості управління своїх військ залишається вкрай актуальним.

В умовах стрімкого розвитку технічних засобів розвідки та вогневого ураження, зростають вимоги до обсягів та строків фортифікаційного обладнання позицій, рубежів, районів розташування військ і пунктів управління. Існуючі темпи фортифікаційного обладнання не задовольняють вимоги, пов'язані із забезпеченням живучості військ та об'єктів, що у свою чергу призводить до необхідності модернізації та розроблення більш продуктивних зразків військово-інженерних землерийних машин, здатних за різних ґрунтових умов відривати виїмки в ґрунті різних лінійних розмірів та функціонального призначення з необхідним темпом виконання робіт.

Інженерні землерийні машини ПЗМ-2, ПЗМ-3, ПЗМ-3-01, ЕОВ-4421, МДК-3, які знаходяться на озброєнні Збройних Сил, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо темпів виконання земляних робіт при інженерному облаштуванні позицій військ.

**Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.** Аналіз науково-технічних і науково-дослідних робіт, патентних матеріалів у яких викладено результати наукових досліджень зі створення конструкцій робочого обладнання інженерних машин свідчить, що під час створення землерийних машин безперервної дії виникає ряд проблемних питань, насамперед пов'язаних з підвищенням ефективності розроблення ґрунтового середовища, підвищенням продуктивності машин та надійності їх роботи.

Необхідність підвищення продуктивності землерийних машин стала поштовхом для розробки принципово нових конструктивних рішень робочих органів, їх навісок на базове шасі (тягача) та машин в цілому. Особливої уваги заслуговують універсальні землерийні машини (УЗМ) безперервної дії подвійного призначення, які спроможні без зміни конструкції робочого органа розробляти поздовжні виїмки різних лінійних розмірів за різних ґрунтових умов [1].

Створення ефективних конструкцій робочих органів та приводів землерийних машин безперервної дії, дослідження процесів розроблення ґрунтів, транспортування його із забою, розвантаження робочих органів та укладення розробленого ґрунту у бруствер пов'язано з дослідженнями відомих вчених, насамперед, М. Г. Домбровського, З. Ю. Гарбузова, Ю. О. Ветрова, А. М. Зеленіна, А. Л. Вайнсона, Д. І. Федорова, В. І. Баловнева, Л. А. Хмари, О. В. Бикова та інших, а їх наукові роботи є фундаментальними і залишаються актуальними і на сьогоднішній день.

Протягом останніх років проблемами удосконалення процесів розроблення ґрунтів робочими органами землерийних машин безперервної дії продовжують займатись вчені та науковці багатьох науково-дослідних та навчально-наукових установ а саме: Л.А. Хмара (ПДАБА), С.В. Кравець (НУВГП) І.Г. Кириченко, В. М. Супонев (ХНАДУ) – Україна; А. Я. Котлобай (БНТУ) – Білорусія; А. Л. Ахтулов (ОДСУШС) та В. С. Щербаков, М. Е. Агапов (СіБАДА) – Російська Федерація та інші. Роботи за цим напрямом проводяться і в НТУ на кафедрі дорожніх машин.

Не зважаючи на зазначене, проблема створення високопродуктивних землерийних машин інженерного озброєння залишається актуальною.

**Метою дослідження** є визначення шляхів створення та модернізації землерийних машин безперервної дії, які знаходяться на озброєнні інженерних військ Збройних Сил України, використовуються для фортифікаційного облаштування позицій військ та укриттів для бойової техніки і можуть бути використані як машини подвійного призначення.

Реалізація зазначеної мети передбачає виконання таких завдань:

- здійснити огляд конструкцій робочих органів УЗМ безперервної дії, що забезпечують відривання виїмок різних лінійних розмірів в ґрунті без зміни конструкції робочого органа;
- за результатами порівняння конструкторських рішень робочого обладнання дати оцінку ефективності землерийних машин та їх приводів;
- визначити перспективні напрямки створення та удосконалення універсальних землерийних машин (УЗМ) безперервної дії;
- розробити технічну пропозицію зі створення високоефективної УЗМ спеціального призначення, виконати необхідні експериментальні дослідження запропонованої конструкції.

#### **Основна частина.**

Розроблення в ґрунті виїмок різної ширини універсальною землерийною машиною типу ПЗМ [1, 2] полягає у тому, що робочому органу в процесі розроблення ґрунту надається декілька рухів: різання ґрунту зі швидкістю  $V_p$ , подачі робочого органа на забій зі швидкістю  $V_e$  та бічного кутового переміщення робочого органа в горизонтальній площині відносно вертикальної вісі  $O$  на кормі тягача на певний кут  $\alpha$  з швидкістю  $V_{on}$  відносно поздовжньої вісі машини (рис. 1). Суміщення бічного переміщення робочого органа з поступальним рухом машини характеризує режим віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій.

Під час розроблення виїмки мінімальної ширини  $B$  (траншеї), робочий орган залишається нерухомим відносно поздовжньої вісі машини, а ширина виїмки  $B$  визначається шириною  $b$  робочого органа.

Універсальність землерийних машин такого типу полягає в тому, що вони спроможні одним і тим самим робочим органом, без його конструктивних змін, лише зміною величини кута повороту  $\alpha$  робочого органа в плані забезпечувати розробку виїмок в ґрунті різних лінійних розмірів.

Завдяки одношарнірній, однаважільній підвісці ґрунторозробного робочого обладнання на базовому тягачі, розроблення виїмки в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій здійснюється нерівномірними стружками, товщина яких в плані змінюється від нуля до визначеного максимуму за кожен напівцикл переміщення робочого органа від одної бічної стінки забою (котловану) до протилежної (рис. 2).

Вказана схема компоновки робочого обладнання УЗМ застосована на машині ПЗМ-2 та її модифікації ПЗМ-3.

В УЗМ безперервної дії типу ПЗМ-2 розроблення ґрунту здійснюється робочими органами з використанням тягових ланцюгів одностороннього перегину на яких монтуються поперечні балки із встановленими на них у визначеному порядку різцями. Застосування такої конструкції ґрунторозробних робочих органів та механізму поперечного переміщення робочого органа в забої забезпечує відривання без переналагодження не лише траншей та ходів сполучень, ширина яких дорівнює ширині робочого органа, але й окопів і укриттів для бойової і спеціальної техніки, котлованів для фортифікаційних споруд різної ширини та глибини, які в декілька разів перевищують ширину робочого органа. Крім того, в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій можливо здійснювати обсіпку фортифікаційних споруд ґрунтом, який вилучено з котлованів.

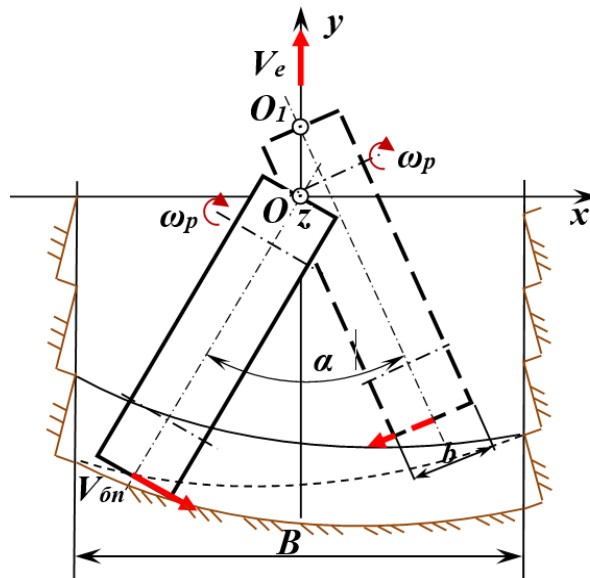


Рисунок 1 – Схема віяльно-поступальної подачі робочого органа землерийної машини на забій  
 Figure 1 – Scheme of the reciprocating approach of the implement to the excavation

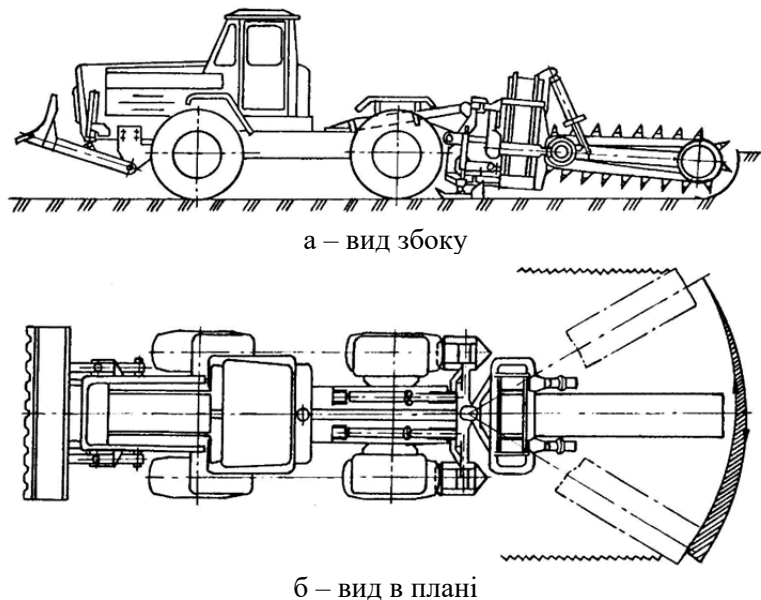


Рисунок 2 – Розроблення широких виїмок ланцюговим робочим органом УЗМ  
 а – side view, б – view on the plan  
 Figure 2 – Excavation of the wide dig-outs with chain implement of MEM

Застосування роторного лопатевого металника з нерухомим направляючим кожухом та реверсу його обертання, дає можливість відведення розробленого ґрунту з траншеї, або котловану, у бруствер по різні боки ґрунтової виїмки без зміни напрямку руху машини.

Разом з зазначеними конструктивними перевагами, ланцюгові робочі органи з механічним приводом мають ряд експлуатаційних обмежень до яких слід віднести їх незначну технічну продуктивність: до 140 м<sup>3</sup>/год. До недоліків машини також слід віднести: механічний привід робочого обладнання, велику кількість елементів тягового ланцюга робочого органа, високу динамічність при різанні ґрунту, розроблення забою нерівномірними стружками в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій.

Заміна двигуна базової машини Т-155 з СМД-62 (ПЗМ-2) на більш потужний ЯМЗ-236 (ПЗМ-3) [3, 4], редуктора відбору потужності та роздавальної коробки дало можливість підвищити технічну продуктивність машини до 140-160 м<sup>3</sup>/год. Крім того, удосконалення конструкції бічних фрез робочого органу машини ПЗМ-3 забезпечило відривання котлованів в реверсному режимі руху машини, у щільних і мерзлих ґрунтах.

Модернізація УЗМ безперервної дії (ПЗМ-3-01 [5]) шляхом встановлення ланцюгово-балкового робочого органа на автомобільне базове шасі КрАЗ-5233НЕ з двигуном ЯМЗ-238НЕ і гідроходозменшувачем, за результатами проведених з нашою участю випробувань, підтвердили можливість відривання траншей з технічною продуктивністю до 324 пог.м/год (237 м<sup>3</sup>/год.), коли глибина траншеї сягає  $H \approx 1,05-1,10$  м) та котлованів [6] з продуктивністю 47,6 пог.м/год. (145,8 м<sup>3</sup>/год.) в ґрунтах II категорії.

Отримані співробітниками кафедри дорожніх машин НТУ в ході експериментальних тензометричних досліджень машини ПЗМ-3-01 результати свідчать, що в режимі максимальної продуктивності при відриванні траншей (288 ÷ 324 пог.м/год.) має місце використання максимальної потужності двигуна (228,45 кВт). Енергоємність розробки ґрунту при цьому складає  $0,4 \div 0,43$  кВт·год./м<sup>3</sup>, що більше аналогічного показника відомих землерийних машин з ланцюговим робочим органом.

Вказаний факт свідчить про реалізацію в процесі розробки ґрунту максимально можливої виносної здатності робочого органа в кінці кожного напівциклу робочого процесу та недостатню ефективність розвантаження робочого органа від розробленого ґрунту. Наявний перенос розробленого ґрунту знову в забій, про що свідчать залишкові просипи на дні траншеї які досягають  $0,10 \div 0,25$  м за глибини траншеї 1,25 м і  $0,10 \div 0,15$  м за глибини траншеї 1,1 м суттєво знижує якість спорудження траншей, створює додаткові навантаження на робочий орган в процесі відривання траншеї Цим обумовлюється надлишкова потужність, що реалізується на його приводі.

Підвищити продуктивність машини можливо шляхом інтенсифікації розвантаження ґрунту з робочого органа за рахунок його конструктивних та кінематичних удосконалень і може бути реалізовано зміною конструкції транспортуючих балок ланцюгового робочого органу.

Інтенсифікація розвантаження ґрунту забезпечується шляхом використання транспортуючих балок з розділенням процесу різання та транспортування розробленого ґрунту із забою [6], що було реалізовано на спеціальній землерийній машині безперервної дії МВТ-2М комплексу машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів. Розділення різання та транспортування ґрунту дає можливість зменшити енергоємність розробки ґрунту, підвищити швидкість подачі робочого органу на забій та збільшити продуктивність машини.

Підвищення ефективності роботи машин типу ПЗМ-2, ПЗМ-3, ПЗМ-3-01 можливо забезпечити шляхом заміни механічної трансмісії приводу робочого органу на гідрооб'ємний привід та впровадженням автоматичних приводів систем керування робочим процесом машини.

Результати проведених нами експериментальних досліджень модернізованої машини ПЗМ-3-01 [7] свідчать, що в режимі максимальної продуктивності виконання робіт при відриванні траншей реалізується потужність в межах  $196 \div 223$  кВт. При відриванні котлованів, в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій, витрата потужності становить 124 кВт і є прогнозовано в 2 рази меншою, ніж в траншейному режимі.

З огляду на вище зазначене, можна стверджувати, що УЗМ з ланцюгово-балковим робочим органом типу ПЗМ оснащеним інтенсифікаторами розвантаження ґрунту, досягли своєї технічної досконалості, а підвищення продуктивності машин шляхом їх модернізації є обмеженим.

Вирішення проблеми підвищення темпів виконання робіт з фортифікаційного облаштування позицій військ та укриттів для бойової техніки можливо шляхом створення нового покоління високопродуктивних УЗМ безперервної дії з роторним робочим органом, які спроможні одним і тим самим робочим органом, без його конструктивних змін, відривати виїмки різних лінійних розмірів стружками рівномірної товщини в різних ґрунтових умовах.

Аналіз технічних характеристик та конструкцій роторних ківшевих траншейних екскаваторів свідчить, що вони мають явні потенційні переваги, порівняно з машинами оснащеними ланцюговими робочими органами.

За даними М. Г. Домбровського [8] розподіл потужності двигуна на копання, підняття ґрунту та переміщення машини є більш сприятливим в роторних ківшевих робочих органів, ніж у ланцюгових. На роботу копання у роторних ківшевих робочих органів витрачається  $67 \div 81$  % потужності проти  $31 \div 66$  % в ланцюгових, що є меншим приблизно на 20 % для малих моделей і на 40 % для великих, маса ланцюгових машин перевищує масу роторних на  $12 \div 15$  %, а продуктивність є в  $1,7 \div 2$  рази нижчою.

Сили, що реалізуються на копання ґрунту робочим органом однакових за потужністю траншейних екскаваторів, в роторних є вищими, ніж у ланцюгових [9], що дозволяє розробляти більш міцні ґрунти. Необхідно зазначити, порівняно низьку енергоємність розробки ґрунту роторними робочими органами [10].

Визначальними характеристиками, які обумовлюють продуктивність машин є швидкості подачі робочого органу на забій та різання ґрунту.

Швидкості подачі робочого органу на забій змінюються в межах від 0,005 – 0,11 м/с у ланцюгових і до 0,2 м/с у роторних машин, що відповідають межах раціональної роботи досліджених моделей машин, які працюють з лінійною швидкістю переміщення 18 – 400 м/год. для ланцюгових і 18 – 700 м/год. роторних траншейних екскаваторів [11].

Швидкість різання ґрунту робочим органом рекомендується в межах: для ланцюгових ківшевих екскаваторів 0,6 -1,6 м/с, для роторних (за діаметра ротора 1,8 – 20 м) 1,9 – 5,5 м/с, для траншейних машин ланцюгових 0,6 – 1,2 м/с, роторних (за діаметра ротора 1,5 – 5 м) 1,5 – 3,2 м/с. Під час роботи в дуже міцних ґрунтах швидкості різання можуть бути зменшені в 3 – 4 рази [11.].

Характерною особливістю робочого процесу УЗМ з ланцюгово-балковим робочим органом є зміна товщини стружки, що розробляється різцями ґрунторозробного робочого органа в режимі віяльно-поступальної подачі залежно від кута його повороту в забої. Це знижує потенціальну продуктивність машини майже вдвічі, призводить до значної пульсації величини навантажень на приводі робочого органа. За результатами досліджень [12, 13] встановлено, що зменшення нерівномірності навантажень на робочому органі з 60 % до 20 % дозволяє підвищити продуктивність машини на 25 %.

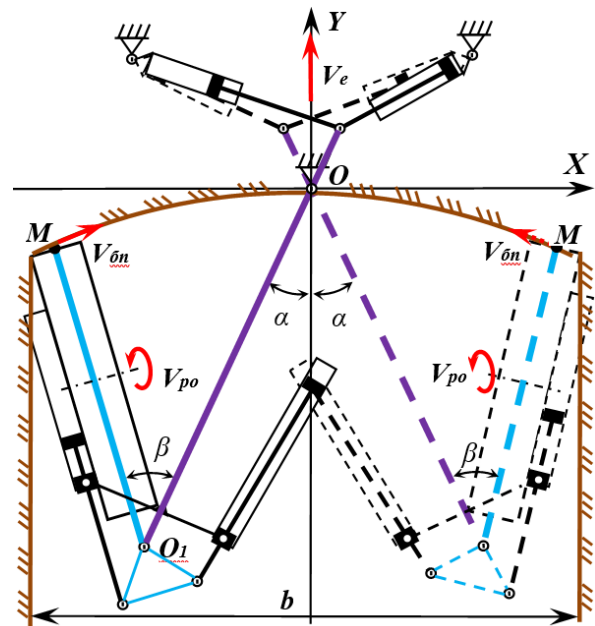
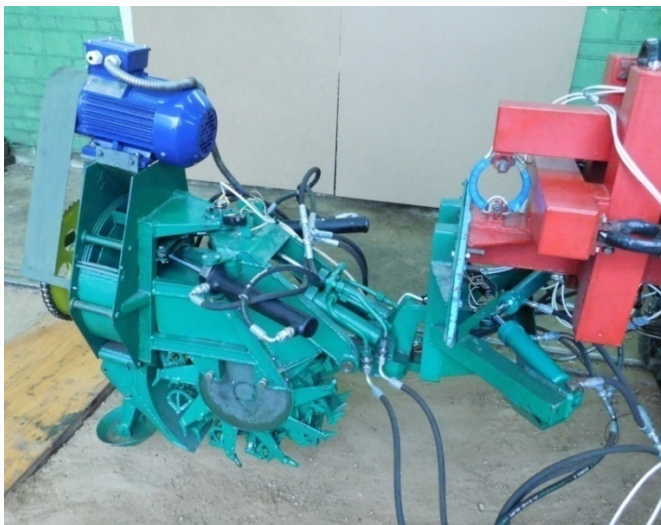
Відривання широких виїмок в ґрунті стружками рівномірної товщини можливо здійснити шляхом надання робочому органу додаткового знакозмінного поздовжнього переміщення відносно базового тягача (випереджуючої подачі робочого органа на забій), величина якого функціонально пов'язана з швидкістю переміщення машини  $V_e$ . Цей спосіб розроблено на кафедрі дорожніх машин НТУ.

За таких умов траєкторія відносного переміщення ріжучих елементів ґрунторозробного робочого органа УЗМ в горизонтальній площині має вид лемніскати Бернуллі і описується рівнянням:

$$C = y_{max} = 2B \frac{V_e}{V_{\delta n}}, \quad (1)$$

де  $C$  – величина подачі машини на забій за час робочого циклу,  $B = const$ ,  $V_{\delta n} = const$ ,  $V_e = var$ .

Отриману залежність можливо реалізувати шляхом використання двошарнірної, дволанкової підвіски ґрунторозробного робочого органа на базовому шасі (тягачі) із гідравлічним приводом бічного переміщення кожної ланки робочого обладнання (рис. 3) та адаптивним управлінням випереджуючої подачі робочого органа на забій. Величина випереджуючої подачі робочого органа має бути функціонально пов'язана зі швидкістю поздовжньої подачі машини  $V_e$  та шириною  $B$  розроблюваної виїмки [14].



а – модель робочого органа;

Рисунок 3 – Робочий орган універсальної землерийної машини з роторним робочим органом

a – model of the implement

Figure 3 – Implement of the multipurpose earthmoving machine with rotary implement

Продуктивність копання ґрунту роторною УЗМ за результатами виконаних нами експериментальних досліджень: під час відривання котлованів шириною до 4,5 м та глибиною до 1,5 м за один прохід складає 400 – 600 м<sup>3</sup>/год. в залежності від категорії розроблюваного ґрунту.

Ефективність технічного рішення робочого обладнання УЗМ безперервної дії з двошарнірною, дволанковою підвіскою ґрунторозробного робочого органа оснащеного роторним ківшевим робочим органом з відцентровим розвантаженням [14] підтверджено виконаними в НТУ експериментальними дослідженнями на стенді фізико-математичного моделювання робочих процесів землерийних машин.

Можна стверджувати про можливість створення високопродуктивних УЗМ безперервної дії спеціального призначення з роторним ківшевим робочим органом для відривання виїмок в ґрунті різних лінійних розмірів без конструктивних змін робочого обладнання з продуктивністю у мерзлих і немерзлих ґрунтах понад 600 м<sup>3</sup>/год.

### **Висновки.**

Створення нових та модернізація існуючих зразків військово-інженерної техніки має здійснюватися з урахуванням сучасних вимог до підготовки та ведення бойових дій, підвищення експлуатаційно-технічних можливостей машин, тенденцій розвитку землерийної та будівельної техніки загальногосподарського призначення, із використанням існуючих, підтверджених досвідом експлуатації технічних рішень конструкцій машин, їх робочого та ходового обладнання.

Складні та матеріаломісткі механічні трансмісії необхідно замінювати гідрооб'ємним приводом, з використанням сучасної елементної бази, моноагрегатних багатопотокових насосних установок, однопотокових насосів з агрегатами ділення потоку робочої рідини.

Використання гідрооб'ємних приводів надасть додаткові можливості автоматизації процесів спорудження виїмок різних лінійних розмірів в ґрунтах, збільшить надійність та експлуатаційну продуктивність машини, розширить використання стандартних гідроагрегатів приводу робочого обладнання, знизить вартість виготовлення машини.

Основними напрямками створення та модернізації військово-інженерних землерийних машин безперервної дії слід вважати:

- створення УЗМ, здатних виконувати весь комплекс завдань, що виникають в процесі фортифікаційного обладнання районів, позицій військ та укріплень для бойової техніки та можуть виконувати виробничі завдання загальногосподарського призначення;

- забезпечення безступінчастої зміни робочих швидкостей у необхідних діапазонах, залежно від характеристик базових шасі, робочого обладнання машин та ґрунтових умов їх експлуатації, зменшення динамічних навантажень машин;

- заміну механічних приводів робочого та ходового обладнання машин гідрооб'ємними приводами;

- автоматизацію робочих процесів УЗМ безперервної дії під час виконання робіт, згідно свого технологічного призначення.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Машина землеройная ПЗМ-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ПЗМ2. 00.00.000 ТО. К.: ОКБ «Стройдормаш», 1981. – 292 с.

2. Полковая землеройная машина ПЗМ-2. Техническое описание, эксплуатация и хранение. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1976. – 240 с.

3. Машина землеройная ПЗМ-3. Руководство по эксплуатации. ПЗМ3.00.00.000.РЭ. К.: ОКБ «Стройдормаш», 2000. – 184 с.

4. Машина землеройная ПЗМ-3. Руководство по эксплуатации. ПЗМ3.00.00.000.РЭ. Приложение. К.: ОКБ «Стройдормаш», 2000. – 184 с.

5. Машина землеройная ПЗМ-3-01. Руководство по эксплуатации. ПЗМ3-01.00.00.000.РЭ. Кременчуг: КВРЗ, 2017. – 172 с.

6. Мусійко В.Д. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль – Київ: «Видавництво Людмила», 2018. – 282 с.

7. Проведення тензометричних випробувань машини ПЗМ-3-01: звіт з НДР / Нац. трансп. ун-т ; кер. Мусійко В.Д. – К., 2017. – 61 с. вик.: Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Лазарук Ю.В., Ніколаенко В.А. – № держреєстрації 0117U001719.
8. Домбровський Н.Г. Удельное усилие копания, развиваемое цепными траншейными экскаваторами / Н.Г.Домбровський, И.Л.Ципурский // Известия вузов. – М., 1970, № 1. – с. 15-17.
9. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. “Машиностроение”. М., 1977, 288 с.
10. Николаев В.Н. К оценке сопротивления грунта копанию на рабочем органе роторного траншейного экскаватора / “Строительные и дорожные машины”. № 12, 1972. с. 7-8.
11. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория и расчет. – М.: Машиностроение. – 1972. – 432 с.
12. Ковалев Е.П. Результаты исследований экскаватора УЭР / Е.П. Ковалев, С.Н. Николаев // Строительство трубопроводов. – 1965. – № 2. – С. 9-5.
13. Покровский В.В. Результаты испытаний экскаватора типа УЭР / В.В. Покровский, В.П. Успенский // Строительство трубопроводов. – 1966. – № 5. – С. 11-16.
14. Патент на винахід № 114779 Україна. МПК(2017.01) E02F 3/00. Універсальна землерийна машина / М. Ф. Дмитриченко, В.А. Дем’янюк, В. Д. Мусійко, М. О. Білякович, А. Б. Коваль, Ю.В. Лазарук, І.О. Тесленко; власник Нац. трансп. ун-т № а 2016 09428 від 12.09.2016 опубл. 10.02.2017, бюл. № 3.

## REFERENCES

1. Mashyna zemleroy'naya PZM-2. Tekhnicheskoe opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii. PZM-2.00.00.000 TO. [Earthmoving machine PZM-2. Technical description and operating instructions. PZM-2.00.00.000 TO.]. Kiev, OKB Stroydormash Publ., 1981. – 292 p.
2. Polkovaia zemleroy'naya PZM-2. Tekhnicheskoe opisaniye, ekspluatatsiia i khraneniye. [Regimental earthmoving machine PZM-2. Technical description, operation and storage]. Moscow, Military Publishing House of the Ministry of Defense of the USSR, 1976. – 240 p.
3. Mashyna zemleroy'naya PZM-3. Rukovodstvo po ekspluatatsii. PZM3.00.00.000.RE. [Earthmoving machine PZM-3. Operation manual. PZM-3.00.00.000.RE.]. Kiev, OKB Stroydormash Publ., 2000. – 184 p.
4. Mashyna zemleroy'naya PZM-3. Rukovodstvo po ekspluatatsii. PZM3.00.00.000.RE. Prilozheniye. [Earthmoving machine PZM-3. Operation manual. PZM3.00.00.000.RE. Application]. Kiev, OKB Stroydormash Publ., 2000. – 184 p.
5. Mashyna zemleroy'naya PZM-3-01. Rukovodstvo po ekspluatatsii. PZM3-01.00.00.000.RE. [Earthmoving machine PZM-3-01. Operation manual. PZM3-01.00.00.000.RE]. Kiremenchug, KVRZ Publ., 2017. – 171 p.
6. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii [Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action]. Kyiv, Vydavnytstvo Ludmyla Publ., 2018 .282 p.
7. Musiiko V.D., Koval A.B., Lazaruk Y.V., Nikolaenko V.A. *Provedennia tenzometrychnykh vyprobuvan mashyny PZM-3-01* [Conducting tensometric tests of the PZM-3-01 machine]. Kyiv, National Transport University Publ. 2017. 61 p.
8. Dombrovskiy, N. G., Tsypurskiy I. L. Udelnoye usilie kopaniya razvivaemoe tsepnyimi transheynymi ekskavatorami [Specific digging force developed by chain trench excavators]. *Izvestiya vuzov – Proceedings of universities*, 1970, issue 1, pp. 15-17.
9. Fedorov D. Y. *Rabochye orhany zemleroinykh mashyn* [The working bodies earthmoving machines]. Moscow, Mashinostroeniye, 1977, – 288 p.
10. Nikolaev V. N. K otsenke soprotivleniya grunta kopaniyu na ravochem organe rotornogo transheynogo ekskavatora [To the assessment of soil resistance to digging on the working body of a rotary trench excavator] *Stroitelnye s dorozhnye mashiny – Construction and road machines*, 1972, issue 12, pp. 7-8.
11. Dombrovskiy, N. G. *Mnohokovshovye ekskavatory. Konstruktsiya, teoryya y raschet* [Multi bucket excavators. Construction, theory and calculation] Moskva, 1972, 432 p.
12. Kovalev E.P., Nikolaev S.N. Rezultaty issledovaniy ekskavatora UER [Research results of the UER excavator]. *Stroitelstvo truboprovodov – Construction of pipelines*, 1965, issue 2, pp. 9-15.



13. Pokrovskiy V.V., Uspenskiy V.P. Rezultaty ispytaniy ekskavatora tipa UER [Research results of the UER excavator]. *Stroitelstvo truboprovodov – Construction of pipelines*, 1966, issue 5, pp. 11-16.

14. Dmytrychenko, M.F., Demianiuk V.A., Musiiko, V.D., Bilyakovych, M.O., Koval, A.B., Lazaruk Y.V., Teslenko I.O. *Universalna zemleryina mashyna* [Universal earth-moving machine] Patent UA, no. a 2016 09428, 2016.

#### РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Проблеми, напрямки та перспективи створення і модернізації землерийних машин безперервної дії спеціального призначення / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, Ю.В. Лазарук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 1 (48).

В статті розглянуто напрямки та перспективи створення високоефективних землерийних машин безперервної дії спеціального призначення з розробкою технічної пропозиції зі створення універсальної роторної землерийної машини.

Об'єкт дослідження: землерийні машини безперервної дії.

Мета дослідження: створення енергоефективної універсальної землерийної машини безперервної дії спеціального призначення.

Метод дослідження – експериментальний.

Існуючі типорозміри траншейних екскаваторів дозволяють відкопувати у ґрунті протяжні виїмки заданого профілю з незначними відхиленнями від їх номінальних ширини та глибини. Спорудження виїмок іншого профілю досягається шляхом переоснащення машин іншим робочим обладнанням.

Раціональним слід вважати створення універсальних землерийних машин, здатних одним і тим самим робочим органом без його конструктивних змін забезпечувати копання у ґрунті протяжних виїмок різних ширин та глибини.

Відомі конструкції машин для риття траншей на базі колісного тягача з навісним ланцюгово-балковим робочим органом, який має можливість виконувати бічні коливальні переміщення відносно вертикальної вісі на кормі тягача. Зміна амплітуди коливального руху робочого органа дозволяє розробляти у ґрунті виїмки різної ширини. У цьому суть універсальності землерийної машини.

Існуюча кінематика коливання ланцюгових секцій робочого органа відносно тягача не може забезпечити рівномірність навантаження машини внаслідок нерівномірності товщини розроблюваної стружки по ширині забою. Це призводить до значної пульсації величини навантажень на робочому органі, втрати курсової стійкості і, в кінцевому рахунку, зменшує потенційну продуктивність машини в два рази.

Нами виконано комплекс наукових робіт зі створення універсальних роторних землерийних машин. У ролі об'єктів експериментальних досліджень використовувались фізичні моделі робочого обладнання УЗМ та натурні зразки машин.

Результатами досліджень експериментально підтверджено можливість створення високопродуктивної УЗМ із роторним робочим органом, яка ефективно розробляє як траншеї, так і широкі виїмки типу котлованів у режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій шляхом вирівнювання товщини зрізуваної стружки ґрунту та мінімізації силового навантаження.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГРУНТ, ЕНЕРГОМІСТКІСТЬ, ЗЕМЛЕРИЙНА МАШИНА, КІНЕМАТИКА, ПРОДУКТИВНІСТЬ

#### ABSTRACT

Musiiko V.D., Koval A.B., Lazaruk Y.V. Problems, directions, and horizons in the creation and modernization of specialized continuously operating earthmoving machines. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1 (48).

The article addresses directions and horizons in the creation of highly efficient specialized continuously operating earthmoving machines and provided a technical proposal for the multipurpose earthmoving machine.

Study subject: continuously operating earthmoving machines.

Objective: To create a power-efficient special-purpose earthmoving machine.



Study method: experimental.

Existing dimension-types of trenching excavators allow digging lengthy excavations of the assigned profile with minor deviations from their nominal width and depth. Creating of excavations of different profiles is being achieved via machine re-equipment with different implements.

A sustainable solution is to create multipurpose earthmoving machines that are capable to perform lengthy excavations of various widths and depths with the same implement and without constructional alterations.

There are known machine designs for trenching on the basis of a wheeled tractor with a mounted chain-bucket implement that is able to perform the lateral oscillatory displacements in relation to the vertical axis on the hull back of the tractor. Alteration of the implements oscillative motion amplitude allows to excavate the tranches of different width. This is the essence of the multipurpose earthmoving machine.

The existing kinematics chain sections of the implement in relation to the tractor can't ensure the consistency of the machine load due to inconsistency of the borings along the width of excavation. This leads to significant pulsation of the load on the implement, loss of the longitudinal stability and, in the end, reduces the potential productivity of the machine by half.

We have performed a set of studies in creating of the multipurpose earthmoving machines (MEM). As the experimental study objects we've used physical models of the MEM implements and full-size prototypes of the machines.

Results of the study experimentally confirm the possibility to create a highly productive MEM with rotary implement, which efficiently performs trenches as well as wide construction pits in the mode of reciprocating approach of the rotary implement to excavation by means of equalization and minimization of power load parameters values.

**KEYWORDS:** EARTHMOVING MACHINE, ENERGY INTENSITY, KINEMATICS, PRODUCTIVITY, SOIL

#### **РЕФЕРАТ**

Мусийко В.Д. Проблемы, направления и перспективы создания и модернизации землеройных машин непрерывного действия специального назначения / В.Д. Мусийко, А.Б. Коваль, Ю.В. Лазарук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 1 (48).

В статье рассмотрены направления и перспективы создания высокоэффективных землеройных машин непрерывного действия специального назначения с разработкой технического предложения по созданию универсальной роторной землеройной машины.

Объект исследования: землеройная машина непрерывного действия.

Цель исследования: создание высокоэффективной землеройной машины непрерывного действия специального назначения.

Метод исследования – экспериментальный.

Существующие типоразмеры траншейных экскаваторов позволяют разрабатывать в грунте протяженные выемки заданного профиля с незначительными отклонениями от их номинальных ширины и глубины. Сооружение выемок другого профиля достигается путем переоснащения машин другими рабочими органами.

Рациональным следует считать создание универсальных землеройных машин, способных одним и тем же рабочим органом без его конструктивных изменений обеспечивать копание в грунте протяженных выемок разных ширин и глубины.

Известны конструкции машин для рытья траншей на базе колесного тягача с навесным цепно-балочным рабочим органом, который имеет возможность осуществлять боковые колебательные перемещения относительно вертикальной оси на корме тягача. Изменение амплитуды колебательного движения рабочего органа позволяет разрабатывать в грунте выемки разной ширины. В этом суть универсальности землеройной машины.

Существующая кинематика колебаний цепных секций рабочего органа относительно тягача не может обеспечить равномерность нагружения машины вследствие неравномерности толщины разрабатываемой стружки по ширине забоя. Это приводит к значительной пульсации величины нагрузок на рабочем органе, потере курсовой устойчивости и, в конечном итоге, уменьшает потенциальную производительность машины в два раза.

Нами виконан комплекс научних робіт по створенню універсальних роторних землеройних машин. Об'єктом експериментальних досліджень були фізичні моделі робочого обладнання універсальної землеройної машини і натурні образці машин.

Результатами досліджень підтверджено можливість створення високопродуктивної УЗМ з роторним робочим органом, ефективно розробляюча як траншеї, так і широкі виїмки типу котлованів, в режимі веерно-поступальної подачі робочого органу на забой, путем вирівнювання і мінімізації силового навантаження.

**КЛЮЧЕВІ СЛОВА:** ГРУНТ, ЗЕМЛЕРОЙНА МАШИНА, КИНЕМАТИКА, ПРОДУКТИВНОСТЬ, ЕНЕРГОЕМКОСТЬ.

#### **АВТОРИ:**

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожніх машин, професор, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: kandr@i.ua, тел. +380500240894, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Лазарук Юрій Володимирович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри дорожніх машин, e-mail: layuvo@ukr.net, тел. +380975761709, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2019-0687.

#### **AUTHORS:**

Musiyko Volodymyr Danilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Road Machines, Professor, e-mail: musvd@i.ua, tel: +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Koval Andrii Borysovych., Ph.D. Engineering, National Transport University, associate professor department of road machines, e-mail: kandr@i.ua, tel. +38050240894, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Lazaruk Yuri Volodymyrovych, National Transport University, postgraduate department of road machines, e-mail: layuvo@ukr.net, tel. +380975761709, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0002-2019-0687.

#### **АВТОРЫ:**

Мусийко Владимир Данилович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой дорожных машин, профессор, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрей Борисович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожных машин, e-mail: kandr@i.ua, тел. +38050240894, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Лазарук Юрий Владимирович, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры дорожных машин, e-mail: layuvo@ukr.net, тел. +380975761709, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2019-0687.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Сахно В. П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Іткін О. Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція»», Київ, Україна.

#### **REVIEWERS:**

Sakhno V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Itkin O. F., Doctor of Technical Sciences, General Director «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.