

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОПОРНОЇ ЛИЖИ РОТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА УНІВЕРСАЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ

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

Мороз В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, frost2013@i.ua, orcid.org/0000-0003-3000-4961

Варфоломеев Ю.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, varfolomeev1947@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5388-6624

DETERMINATION OF THE POWER LOAD FOR THE SKID OF THE MULTIPURPOSE EARTHMOVING MACHINE'S ROTARY IMPLEMENT

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

Koval A.B., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

Moroz V.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, frost2013@i.ua, orcid.org/0000-0003-3000-4961

Varfolomeev Yu.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, varfolomeev1947@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5388-6624

Постановка проблеми. Земляні роботи, особливо в галузі транспортного будівництва, пов'язані з розробкою та переміщенням мільярдів кубічних метрів ґрунту. Виконання таких об'ємів робіт можливе виключно з використанням високопродуктивних землерийних машин, в першу чергу екскаваторів безперервної дії. Ними швидко та ефективно можуть бути споруджені траншеї різного призначення, канали, дренажні системи в меліоративному будівництві, нафтогазотранспортні та газорозподільні системи. Використання з цією метою екскаваторів повздовжнього копання дозволяє підвищити в декілька разів продуктивність праці і цим прискорити темпи будівництва інженерних об'єктів різного призначення. Продуктивність спеціалізованих екскаваторів повздовжнього копання в 3-4 рази більша, ніж універсальних екскаваторів циклічної дії рівної маси.

Таким чином, розширення областей використання екскаваторів повздовжнього копання, підвищення техніко-експлуатаційних показників їх роботи повністю відповідає сучасним вимогам прискореного науково-технічного прогресу та створення нових технологій.

Існуючі типорозміри екскаваторів дозволяють відкопувати протяжні виїмки в ґрунті лише заданого профілю, а відкопування виїмок іншого профілю можливо шляхом переоснащення машин змінним робочим обладнанням [1].

З урахуванням вище викладеного, створення високопродуктивних універсальних землерийних машин (УЗМ) безперервної дії, здатних одним і тим самим робочим органом (РО) відкопувати в ґрунті протяжні виїмки різних лінійних розмірів та технологічного призначення за різних ґрунтових умов є актуальним та своєчасним.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. Аналіз опублікованих науково-технічних робіт, патентів та авторських свідоцтв [2-4], у яких викладено результати досліджень ефективності конструкцій робочого обладнання землерийних машин безперервної дії свідчить, що при їх створенні існує ряд не вирішених питань стосовно забезпечення високої продуктивності розробки ґрунтів та якості виконання земляних робіт в процесі спорудження інженерних об'єктів [5].

Протягом останніх років проблемами удосконалення процесів розроблення ґрунтів ланцюговими робочими органами землерийних машин займалися вчені та науковці багатьох наукових та навчально-наукових установ, Національного транспортного університету (НТУ) : В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль; М.К. Сукач (КНУБА); С.В. Кравець (НУВГП) – Україна; А.Я. Котлобай (Білоруський національний технічний університет) – Білорусія; В.С. Щербаков, М.Е. Агапов (Сибірська державна автомобільно-дорожня академія) – Російська Федерація та інші [6-12].

Не зважаючи на вище викладене, проблема створення високоефективних землерийних машин безперервної дії, що відповідають зазначеним вимогам залишається актуальною.

На землерийних машинах безперервної дії в якості робочого обладнання використовуються як роторні (ківшеві і безківшеві), так і ланцюгові (ківшеві та ланцюгово-балкові) робочі органи [13, 14].

Одним із проблемних питань створених ефективних конструкцій універсальних землерийних машин (УЗМ) є забезпечення в процесі синтезу конструкції її високої прохідності, врівноваженості та курсової стійкості під час копання ґрунту, особливо в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органу на забій.

Розглядаючи в якості вихідної конструкцію роторного робочого органу машин (рис. 1), необхідно відзначити складність та багатовекторність зовнішніх навантажень, що виникають в процесі спорудження широких виїмок в ґрунті (котлованів).

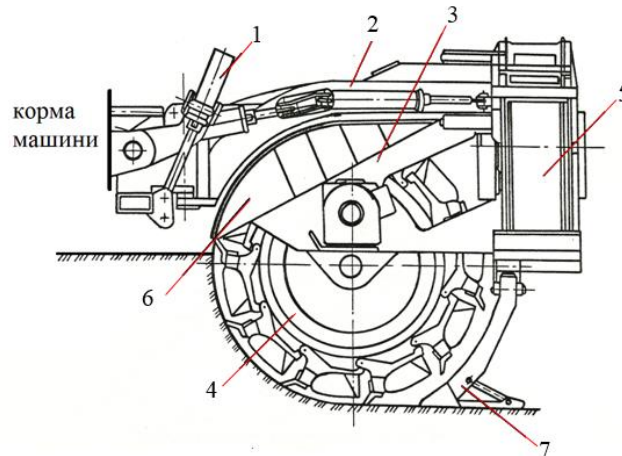


Рисунок 1 – Конструктивна схема робочого органу універсальної землерийної машини:
1 – гідроциліндр підйому; 2 – проміжна рама; 3 – рама ротора; 4 – ротор; 5 – метальник;
6 – захисний кожух; 7 – опорна лижа

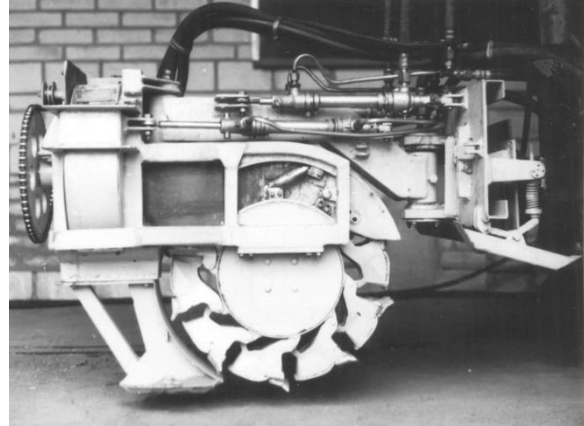
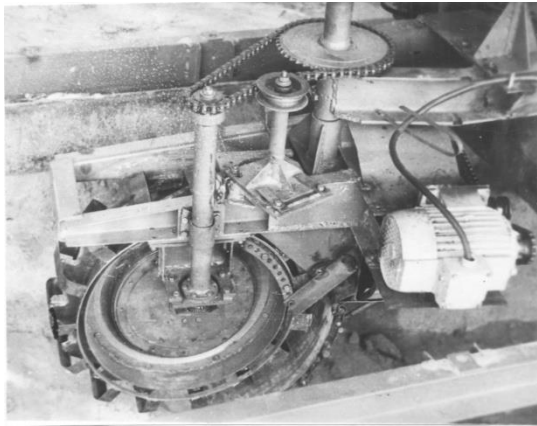
Figure 1 – Structural scheme of the multipurpose earthmoving machine's implement: 1 – hydraulic cylinder; 2 – intermediate frame; 3 – rotor frame; 4 – rotor; 5 – thrower; 6 – protection enclosure; 7 – skid

Врівноважити машину, забезпечивши рівномірний розподіл тиску гусениць на ґрунт, а значить і достатню курсову стійкість, пропонується шляхом використання опорної лижі робочого органу, що опирається своєю п'ятою на поверхню дна забою (див. рис. 1). При цьому лижа, розміщена позаду робочого органу, сприймає на себе значну частину зовнішніх навантажень як вертикальних, так і бічних, що виникають в процесі копання ґрунту, сприяючи таким чином рівномірному розподілу тиску під гусеницями машини. Це покращує тягово-зчіпні властивості машини, збільшує її прохідність та курсову стійкість.

Колективом кафедри дорожніх машин НТУ було проведено комплекс наукових робіт зі створення роторних УЗМ [6, 15-19]. Об'єктами експериментальних досліджень були фізичні моделі робочого обладнання УЗМ з безківшевими (рис. 2 а) [17] та ківшевими (рис. 2 б) роторними робочими органами (РО) [18, 19]. Для розроблення ґрунту використовувався роторний ківшевий РО з роторним лопатевим метальником.

Під час проведення досліджень розробка котлованів забезпечується суміщенням обертання РО з швидкістю ω_p , поздовжнім переміщенням зі швидкістю подачі V_n та бічною подачею на забій зі швидкістю V_{bn} завдяки механізму поперечного (віяльного) руху РО відносно поздовжньої вісі навколо шарніру з вертикальною віссю в точці О. Необхідний профіль котловану відривається послідовними проходками (рис. 3).

В процесі суміщення поступального руху машини і бічного переміщення робочого органу розробка забою в горизонтальній площині здійснюється стружками серповидної форми, а параметри стружок, які зрізуються ріжучими елементами ротора змінюються від нуля до визначеної величини (див. рис. 3). В кінці напівциклу руху, коли ротор підходить до бічної стінки виїмки, ґрунт поступає в порожнини РО з цілика забою стружкою максимальної товщини та з призми волочіння, яка притискається до бічної стінки котловану. Утворення призми волочіння приводить до значного збільшення усіх силових навантажень, а також збільшення кількості залишкового ґрунту на дні котловану, об'єм складає 15,4 – 16,7 % від об'єму котловану. Значну частину цих навантажень сприймає опорна лижа робочого органу.



а) б)

Рисунок 2 – Моделі робочого обладнання УЗМ: а) з безківшевим ротором; б) з ківшевим ротором
Figure 2 – Models of the MEM working equipment: a) with the bucketless rotor; b) with bucket rotor

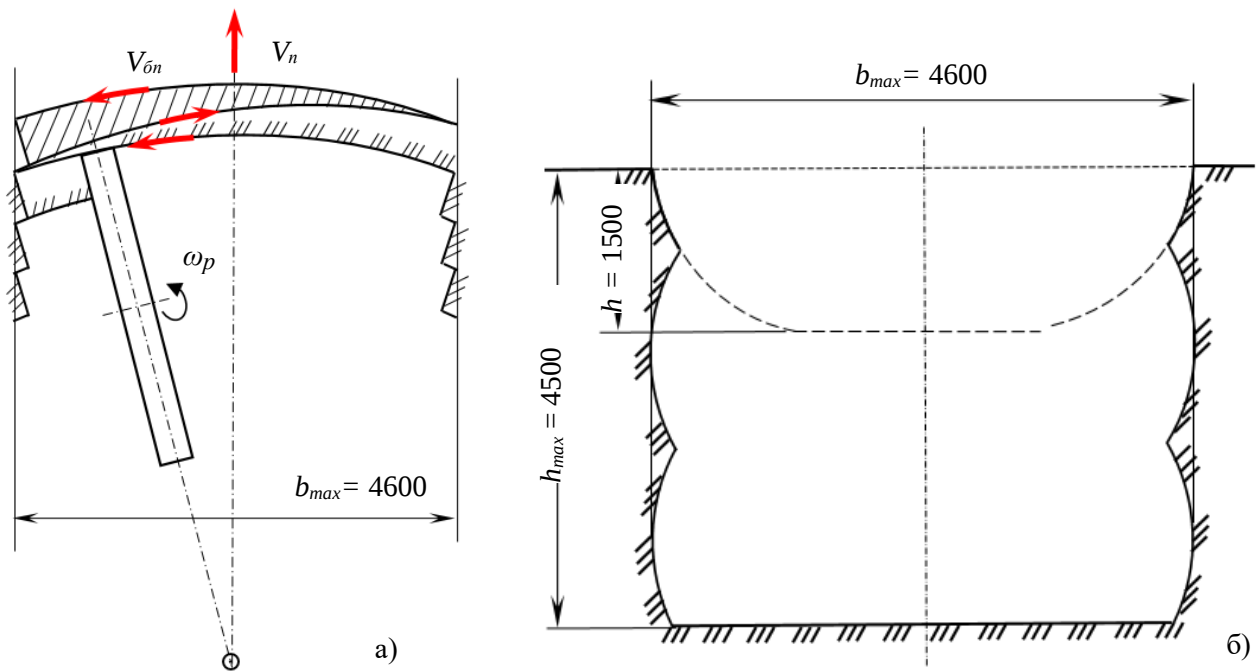


Рисунок 3 – Схема відривання котловану: а) – вид в плані; б) – поперечний переріз виїмки
Figure 3 – The scheme of pit development: a – view in the plan; b – cross-section of the excavation

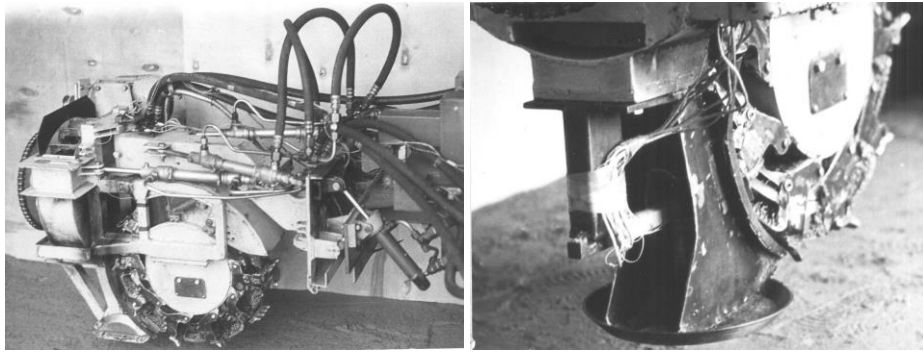
Експериментальними дослідженнями УЗМ з ківшевим роторним РО із відцентровим розвантаженням, який змонтовано на двохшарнірному механізмі поперечного переміщення (рис. 2 б) було встановлено, що силове навантаження РО залежить від режимів роботи і в значній мірі від форми стружки, яку розробляє РО в горизонтальній площині. Зменшити зовнішні навантаження та вирівняти їх величину в процесі копання ґрунту можливо шляхом удосконалення кінематики переміщення робочого органа в забої, а саме за рахунок довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу.

Метою дослідження є визначення фізичної суті та величини параметрів силового навантаження опорної ліжкі робочого органа та шляхи зменшення цих навантажень.

Основна частина.

Опорна лижа є одним із важливих опорних конструктивних елементів робочого обладнання УЗМ. Криволінійну поверхню частини лижі повернуто до ротора, і вона направляє ґрунт, що не потрапив у вікно металника, назад у зону копання. Таким чином в значній мірі попереджується утворення просипів ґрунту.

Експериментальні дослідження проведено на фізичній моделі робочого обладнання роторної універсальної машини (рис. 4 а). Під час дослідження силового навантаження штатна конструкція опорної ліжжї замінювалась на опорну ліжжю з тензометричною підвіскою (рис. 4 б), схема якої наведена на рис. 4 в.



а)

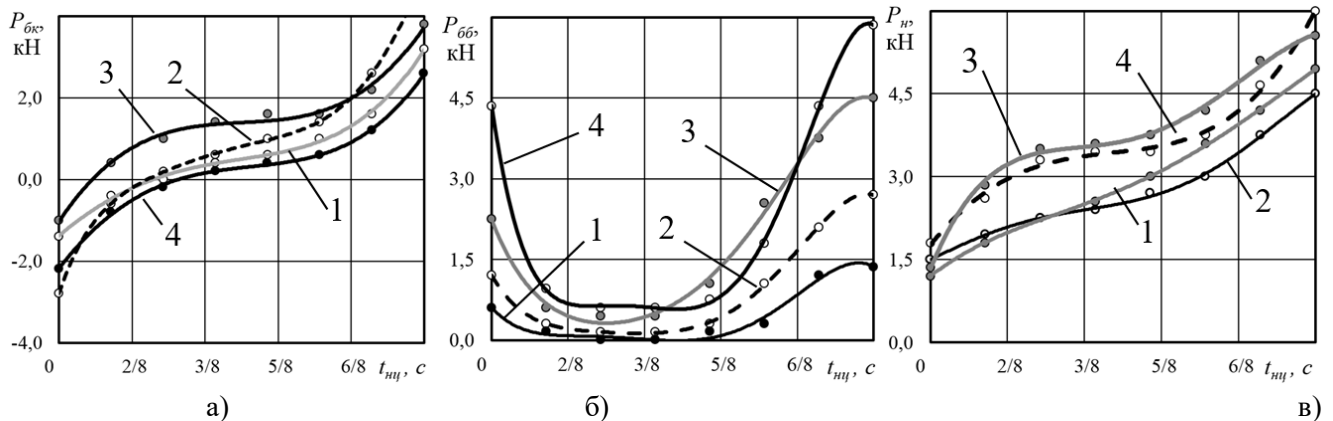
б)

в)

Рисунок 4 – Фізична модель робочого органа універсальної землерийної машини: а) загальний вигляд; б) опорна лижі з тензометричною підвіскою; в) схема тензометричної підвіски лижі

Figure 4 – Physical model of the multipurpose earthmoving machine's implement: a) general view; b) skid with extensometric suspension; c) scheme of the extensometric suspension of the skid

Тензометричні дослідження навантаження опорної частини лижі дозволили виміряти реакції ґрунту на неї у трьох взаємно перпендикулярних площинах. Цими реакціями є поздовжня у площині ротора сила – $P_{\delta n}$, бічна сила – $P_{\delta b}$ і вертикальна P_n . Характер зміни кожної з цих реакцій за час переміщення робочого органа від однієї стінки траншеї до протилежної (за час напівциклу) є практично однаковим, відмінності полягають в абсолютних значеннях діючих сил (рис. 5). За результатами виконання модельного експерименту побудовано залежності зміни поздовжньої сили на лижі за час напівциклу під час копання виїмки в ґрунті шириною $B = 4,5$ м.



а)

б)

в)

Рисунок 5 – Силове навантаження опорної лижі за час напівциклу:

а) поздовжня сила, б) бічна сила, в) вертикальна сила; 1 – $V_n = 27$ м/год., $V_p = 6$ м/с, $t_3 = 0$ с; 2 – $V_n = 27$ м/год., $V_p = 6$ м/с, $t_3 = 1,1$ с; 3 – $V_n = 104$ м/год., $V_p = 6$ м/с, $t_3 = 1,1$ с; 4 – $V_n = 104$ м/год., $V_p = 9$ м/с, $t_3 = 1,1$ с.

Figure 5 – Power load of the skid during half-cycle: a) longitudinal force b) transverse force c) vertical force; 1 – $V_n = 27$ м/h, $V_p = 6$ м/s, $t_3 = 0$ s; 2 – $V_n = 27$ м/h, $V_p = 6$ м/s, $t_3 = 1,1$ s; 3 – $V_n = 104$ м/h, $V_p = 6$ м/s, $t_3 = 1,1$ s; 4 – $V_n = 104$ м/h, $V_p = 9$ м/s, $t_3 = 1,1$ s.

Для більшої наочності та забезпечення можливості зіставлення навантажень в однакових положеннях робочого органа в забої, час циклу представлено не в абсолютних величинах, а у частках від загальної тривалості циклу. Із залежностей видно, що абсолютне значення поздовжньої сили на опорній лижі змінюється від 2,8 кН до 4 кН.

Для представлених режимів роботи характерний негативний напрям дії вектора поздовжньої сили (реакції) на початку переміщення (приблизно до $\frac{2}{8}$ тривалості напівциклу $t_{нц}$) з відносно швидким її зростанням. На середині напівциклу значення поздовжньої сили стабілізується на рівні 0,2-1,5 кН. Наприкінці напівциклу ($\frac{5}{8}-\frac{8}{8} t_{нц}$) навантаження зростає.

Такий характер зміни поздовжньої сили за час напівциклу визначається кінематикою руху опорної частини лижі й особливостями її взаємодії з просипами ґрунту на дні виїмки. На початку руху вектор поздовжньої швидкості центру опорної частини лижі направлено від ротора до лижі, тобто опорна лижа відходить назад. Поздовжня сила має від'ємне значення, що зменшує величину необхідної сили тяги на переміщення робочого обладнання. У середині виїмки рух опорної частини лиж по дну виїмки стабілізується, а поздовжня швидкість опорної поверхні відносно підосви забою залишається практично незмінною. З урахуванням стабільності об'ємів просипів ґрунту у середній зоні забою мають місце постійні за величиною навантаження ($P_{б.н}$, $P_{б.б}$, P_n) на лижу у середині напівциклу (див. рис. 5).

При підході робочого органа до протилежної стінки забою поздовжня сила, що діє на лижу, зростає ($\frac{5}{8}-\frac{8}{8} t_{нц}$). Це відбувається внаслідок того, що основний об'єм залишкових просипів зосереджено на дні забою біля бічних стінок виїмки (рис. 6). Зустрічаючи на своєму шляху призму ґрунту, тарілчаста опорна поверхня лижі переміщує її, підпресовуючи ґрунт під собою та притискаючи його до бічної стінки ґрунтової виїмки. Цим обумовлюються максимальні навантаження на лижу ($P_{б.н}$, $P_{б.б}$, P_n) саме наприкінці робочого напівциклу. Основним чинником формування навантаження опорної лижі є наявність залишкових просипів на дні виїмки. Наявність довороту проміжної рами зменшує кількість залишкових просипів.

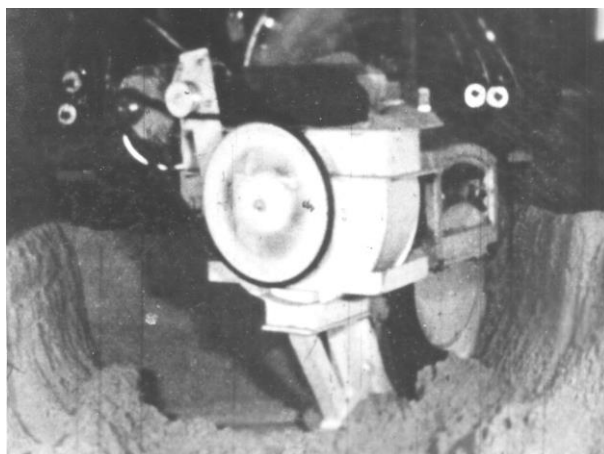


Рисунок 6 – Взаємодія опорної поверхні башмака з залишковими просипами наприкінці напівциклу
Figure 6 – Interaction of the shoe bearing surface with the residual spill at the end of the half-cycle

Як видно з рис. 5, для схожих режимів, але з різною тривалістю часу довороту ($t_3 = 0$ с і $t_3 = 1,1$ с), навантаження лижі може бути більшим як за $t_3 = 0$ с, так і за $t_3 = 1,1$ с. Це залежить від того, наскільки правильно величину тривалості довороту проміжної рами підібрано відповідно до режиму роботи машини. Логічний висновок: з метою мінімізації навантаження опорної лижі для кожного режиму роботи необхідна своя, оптимальна величина тривалості довороту проміжної рами.

Як видно з рисунка 5 б, у початковий момент переміщення значення бічної складової сил на лижі перебуває в межах 0,5-3 кН залежно від режиму роботи машини. Приблизно за час $t = \frac{1}{8} t_{нц}$ значення бічної сили стабілізується у межах 0-5 кН. До кінця напівциклу, починаючи з $t = \frac{5}{8} t_{нц}$, спостерігається інтенсивне зростання аналізованої складової $P_{б.б}$ до значень 1,5-6 кН. На початку руху опорна частина лижі знаходиться на ущільненому ґрунті, на неї діє вертикальна сила P_n , що обумовлює силу тертя приблизно рівну бічній силі $P_{б.б}$. Далі опорна частина лижі сходить із підпресованого раніше ґрунту (див. рис. 6). Причини та характер зміни бічної сили у середній частині ґрунтової виїмки та при підході робочого органа до стінки виїмки є аналогічними за фізикою взаємодії з закономірностями зміни поздовжньої сили на лижі.

Характер зміни вертикальної сили P_n , що діє на опорну поверхню лижі, є аналогічним зміні величини поздовжньої сили $P_{б.н.}$. Відмінність полягає в тому, що вертикальна сила завжди є додатною внаслідок підпресовування ґрунту з просипів під опорну поверхню лижі. Змінюється вона у межах 1,1-6,0 кН із поличкою посеред напівциклу на рівні 2,5-3,6 кН залежно від режиму роботи машини (рис. 5 в).

Отримані навантаження на опорну лижу є наслідком ідеального робочого процесу. Робота реальної машини відрізняється тим, що система «робочий орган – тягач» схильна до коливань у просторі залежно від величини робочих навантажень. На навантаження опорної лижі та всієї машини значною мірою впливатимуть поздовжній і поперечний крен машини, осадка її гусениць у процесі розробки ґрунту.

Висновки.

1. Розкрито фізичну сутність формування зовнішніх навантажень на опорній лижі робочого органа універсальної землерийної машини.

2. Встановлено діапазони та закономірності зміни зовнішніх навантажень на опорній лижі необхідні для виконання розрахунків курсової стійкості УЗМ.

3. Доказана можливість мінімізації зовнішніх навантажень на лижі за рахунок оптимізації режимів переміщення робочого органа в режимі копання ґрунту шляхом довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу робочого процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Створення траншейно-котлованих універсальних землерийних машин безперервної дії. Теоретичні дослідження кінематики переміщення робочого органа УЗМ в забої та забезпечення умов курсової стійкості універсальних землерийних машин безперервної дії. Звіт про НДР (проміжний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Дем'янюк В.А.; вик. Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2015. – 88 с. № ДР 0115U002269.

2. Домбровский М.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория и расчет. – М., Машиностроение, 1972. – 432 с.

3. Кравець С.В. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин та підземнорухомих пристроїв : монографія / Кравець С.В., Кованько В.В., Лук'янчук О.П. – Рівне : НУВГП, 2015. – 322 с.

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

5. Быков А.В. Исследование конструктивно-кинематических параметров цепнобалочного рабочего органа универсальной землеройной машины : дис. ... канд. тех. наук / Быков Александр Владимирович. – К., 1986. – 205 с.

6. Створення екологічно безпечної технології пошарової розробки ґрунтів та проекту спеціальної землерийної машини для її реалізації. Звіт про НДР (остаточний) / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Матейчик В.П. ; вик. Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2018. – 233 с. № ДР 0107U002324.

7. Juraj Gerlici, Volodymyr Musiiko, Andrii Koval, Volodymyr Nikolaenko, Jurii Lazaruk, Tomas Lack, Kateryna Kravchenko. Experimental analysis of the universal continuous digging machine working processes. Manufacturing Technology 2020, 20(4):429-435 DOI: 10.21062/mft.2020.066.

8. Синтез землерийної і дорожньої техніки : підручник для студ. вищ. навч. закл. / М. К. Сукач, Є. В. Горбатюк, О. А. Марченко ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури. – К. : Ліра-К, 2013. – 376 с.

9. Кравець С.В. Визначення числа ліній різання та висоти ґрунтотранспортних скребків ланцюгово-скребкових траншейних экскаваторів / С.В. Кравець, О.В. Косяк, Р.О. Гапонов, Т.О. Янчик // Сб. научн. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Дніпро : ГВУЗ «ПГАСА», 2019. – Вип. № 107. – С. 66-74.

10. Котлобай А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин. / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. – 2013. № 5. С. 54–59.

11. М. Е. Агапов. Взаимодействие рабочего органа цепного траншейного экскаватора с ґрунтом в поперечной плоскости. / Вестник СибАДИ : Научный рецензируемый журнал. – Омск: ФГБОУ ВПО «СибАДИ». – № 5 (33). – 2013. С. 7-9.

12. Щербаков В. С. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора : монография / В. С. Щербаков, Р. Ю. Сухарев; СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2011. – 149 с.

13. Мусійко В.Д. Шляхи підвищення продуктивності траншейних екскаваторів безперервної дії / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, Д.І. Пацьора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 3 (50). С. 132-143.
14. Проведення тензометричних випробувань машини ПЗМ-3-01. Звіт про НДР (остаточний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Мусійко В.Д.; вик Коваль А.Б. [та інш.]. – К., 2017. – 61 с. № ДР 0117U001719
15. Мусійко В. Основи синтезу компоновальної схеми універсальних землерийних машин безперервної дії / Мусійко В., Коваль А., Лейченко Ю. // Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska, 2015. – S. 263–268.
16. Коваль, А.Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних землерийних машин: автореф. дис... канд. техн. наук 05.05.04/ Коваль Андрій Борисович ; ДВНЗ «Придніпровська держ. акад. буд-ва та архіт. – Д., 2014. – 21 с.
17. Экспериментальные исследования рабочих процессов перспективных землеройных машин с целью определения их основных параметров. Отчет о НИР / Киев. Автом.-дор. ин-т. ; рук. Маевский А.Г. ; исполн.: Мусийко В.Д. [и др.]. – К., 1983. – 146 с. – Библиогр.: с. 144–146. – № ГР 01.84.0000355 – Инв. № 0283.0086514.
18. Определение оптимальных кинематических параметров рабочего процесса и компоновочного решения универсальной роторной землеройной машины. Отчет о НИР / Киев. автом.-дор. ин-т. ; рук. Мусийко В.Д. ; исполн.: Коваль А.Б., Лейченко Ю.Б., Маслов В.Ф., Варфоломеев Ю.М., Юрчиков Б.В., Федорков В.И., Бережнюк В.И. – К., 1987. – 196 с. – № ГР 01.86.0017418; Инв. № 02880051223.
19. Створення траншейно-котлованих універсальних землерийних машин безперервної дії. Звіт про НДР (заклучний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Дем'янюк В.А.; вик Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2018. – 202 с. № ДР 0115U002269.

REFERENCES

1. Demianiuk V.A., Musiiko V.D. Stvorennia transheino-kotlovannykh universalnykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii. Teorenychni doslidzhennia kinematyky peremishchennia robochoho orhana UZM v zaboi ta zabezpechennia umov kursovoi stiiikosti universalnykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii [Design of the continuously operating trench- and pit digging machines. Theoretical researches of kinematics of movement rotary implement of UZM in a face and maintenance of conditions of course stability of universal earthmoving machines of continuous action]. Kyiv, National Transport University, 2015. 88 p.
2. Dombrovskiy, N. G. *Mnookovshovye ekskavatory. Konstruktsiya, teoriya y raschet* [Multi bucket excavators. Construction, theory and calculation] Moskva, 1972, 432 p.
3. Kravets S.V., Kovanko V.V., Lykianchuk O.P. *Naukovi osnovy stvorennia zemleryino-yarusnykh mashyn ta pidzemnorukhomyykh prystroiv* [Scientific bases of creation of earthmoving machines and underground mobile devices]. Rivne, NUVHP Publ., 2015. 322 p.
4. 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.
5. Bykov, A.V. *Yssledovanye konstruktivno-kinematicheskyykh parametrov tsepnobalochnoho rabocheho orhana unyversal'noy zemleroynoy mashyny* [Investigation of the structural-kinematic parameters of the chain-working apparatus of a universal earthmoving machine. Doct. Diss.] Kyiv, 1986, 205 p.
6. Mateichyk V.P., Musiiko V.D. Stvorennia ekolohichno bezpechnoi tekhnolohii posharovoi rozrobky gruntiv ta proektu spetsialnoi zemleryinoi mashyny dlia ii realizatsii [Creation of the environmentally safe technology of layerwise soil excavation and the design of the specialized earthmoving machine for the implementation of this technology]. Kyiv, National Transport University, 2018. 233 p.
7. Juraj Gerlici, Volodymyr Musiiko, Andrii Koval, Volodymyr Nikolaenko, Jurii Lazaruk, Tomas Lack, Kateryna Kravchenko. Experimental analysis of the universal continuous digging machine working processes. *Manufacturing Technology* 2020, 20(4):429-435 DOI: 10.21062/mft.2020.066.
8. Sukach M.K., Horbatiuk Ye.V., Marchenko O.A. *Syntezy zemleryinoi i dorozhnoi tekhniki : pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv* [Synthesis of earthmoving and road machinery : a textbook for students of higher educational institutions]. Kyiv, Lira-K, 2013. 376 p.

9. Kravets S.V., Kosiak O.V., Haponov R.O., Yanchyk T.O. Vyznachennia chysla linii rizannia ta vysoty gruntotransportnykh skrebkiv lantsiuhovo-skrebkovykh transheinykh eksravatoriv [Determining the number of cutting lines and the height of soil scrapers scraper chain scraper trench excavators] Stoitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Intensifikatsiya rabochikh protsesov stroitelnykh i dorozhnykh mashyn. Seriya: Podemno-transportnye, stroitelnye i dorozhnye mashyny i oborudovanie. [Building. Materials Science. Mechanical Engineering. Intensification of of working processes of building and road machines. Series: Hoisting, building and road machines and equipment.], 2019, issue 107, p.p. 66-74. (Ukr)
10. Kotlobay A.Ya., Kotlobay A.A., Tamelo V.F. Formirovanie napravleniy modernizatsii zemleroynykh mashyn [Formation of directions for the modernization of earthmoving machines]. *Nauka i tekhnika – Science and technology*, 2013, issue 5, pp.54-59.
11. Agapov M.E. Vzaimodeystvie rabocheho organa tsepnogo transheynogo ekskavatora s gruntom v poperechnoy ploskosti [Interaction of the working body of a chain trench excavator with soil in the transverse plane]. *Vesnik SibADI – Bulletin SibADI*, 2013, issue 5, pp. 7-9.
12. Shcherbakov V.S. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya rabochim organom tsepnogo transheynogo ekskavatora [Improving the control system of the working body of a chain trench excavator]. Omsk, SibADI Publ., 2011. 149 p.
13. Musiiko V. D.. Shliakhy pidvyshchennia produktyvnosti transheinykh ekskavatoriv bezperervnoi dii [Ways to increase the productivity in continuously operating trenching excavators]. *Visnyk natsionalnoho transportnoho universytetu* [Bulletin of the National Transport University, 2021, issue 3(50), pp. 132-143.
14. Musiiko V.D., Koval A.B. Provedennia tenzometrychnykh vyprobuvan mashyny PZM-3-01 [Conducting of PZM-3-01 mashine strain testing]. Kyiv, National Transport University, 2017. 61 p
15. Musiiko V., Koval A., Leichenko Yu. *Osnovy syntezy komponovalnoi skhemy universalnykh zemleryinykh bezperervnoi dii* [Fundamentals of synthesis of layout scheme of universal earthmoving machines of continuous action]. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska*, 2015. – S. 263–268.
16. Koval A.B. *Vuznachennia umov zabezpechennia kursovoi stiikosti universalnykh zemleryinykh mashyn*. Avtoreferat Diss. [Definition of the conditions assuring the course stability of the multipurpose earth-moving machine. Auror's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2013. 21 p.
17. Maevskiy A.G., Musiyko V.D. *Eksperimentalnye issledovaniya rabochikh protsesov zemleroynykh mashyn s tselyu opredeleyiya ikh osnovnykh parametrov* [Experimental research of working processes perspective earthmoving machines to determine their basic parameters]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1983. 146 p.
18. Musiyko V.D., Koval A.B., Leychenko Yu.B., Maslov V.F., Varfolomeev Yu.M., Yurchikov B.V., Fedorkov V.I., Berezhnyuk V.I. *Opredelenie optimalnykh kinematicheskikh parametrov rabocheho protsessa i komponovochnogo resheniya universalnoy rotnoy zemleroynoy mashyny* [Determination of optimal kinematic parameters of the working process and the layout decision of the multipurpose earth-moving machine]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1987. 196 p. (Rus)
19. Musiyko V.D., Koval A.B., Leychenko Yu.B., Maslov V.F., Varfolomeev Yu.M., Yurchikov B.V., Fedorkov V.I., Berezhnyuk V.I. *Opredelenie optimalnykh kinematicheskikh parametrov rabocheho protsessa i komponovochnogo resheniya universalnoy rotnoy zemleroynoy mashyny* [Determination of optimal kinematic parameters of the working process and the layout decision of the multipurpose earth-moving machine]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1987. 196 p.

РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Визначення силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, В.В. Мороз, Ю.М. Варфоломєєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглянуто фізичну суть взаємодії опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини з поверхнею дна відкопаної виїмки в ґрунті та експериментальне визначення параметрів силового навантаження лижі як чинника, що обумовлює курсову стійкість машини в процесі копання ґрунту.

Об'єкт дослідження: процес силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини.

Мета дослідження: визначення фізичної суті та величини параметрів силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа землерийної машини.

Метод дослідження – експериментальний на фізичній моделі робочого органа.

Експериментальне визначення величини та характеру зміни в процесі копання ґрунту параметрів силового навантаження опорної лижі робочого органа машини в режимі віяльно-поступальної подачі за відсутності апробованих методик їх розрахунку слід вважати єдиним способом оцінки навантаження як окремих вузлів, так і машини в цілому. Це необхідно для оцінки балансу потужності машини, що працює в режимі копання ґрунту та для визначення курсової стійкості машини.

В процесі виконання досліджень встановлено, що величини складових сил навантаження опорної лижі (вертикального, бічного та повздовжнього), в основному обумовлюються формуванням та переміщенням призми волочіння ґрунту, що просипався на дно споруджуваної виїмки в процесі копання. В найбільшій мірі вказаний ефект проявляється поблизу стінок споруджуваної виїмки що обумовлює тарільчасту форму опорної поверхні лижі, яка забезпечує її «спливання» над призмою ґрунту, що просипався.

Встановлено залежність величини складових сил навантаження опорної лижі в залежності від кінематичних характеристик режимів переміщення робочого органа в процесі копання ґрунту. Виявлена закономірність дозволяє мінімізувати силове навантаження лижі шляхом регулювання тривалості довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу, збільшуючи таким чином курсову стійкість машини в процесі спорудження широких виїмок (котлованів) в ґрунті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ҐРУНТ, ДОВОРІТ, КОПАННЯ, КУРСОВА СТІЙКІСТЬ, ОПОРНА ЛИЖА, РЕЖИМИ РОБОТИ, РОБОЧИЙ ОРГАН, СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ

ABSTRACT

Musiyko V.D., Koval A.B., Moroz V.V., Varfolomeev Yu.M. Determination of the power load for the skid of the multipurpose earthmoving machine's rotary implement. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article is concerned with the physical substance of the interaction between the skid of the multipurpose earthmoving machines implement and the surface of the soil excavation and experimental determination of the power load parameters of the skid as a factor that ensures the course stability of the machine during the excavation process.

Study object: process of the power loading of the skid in the rotary implement of the multipurpose earthmoving machine.

Objective: determination of the physical substance and values of the power load parameters for the skid in the rotary implement of the multipurpose earthmoving machine.

Method – the experiment on the physical model of the implement.

The experimental determination of the value and behavior of the power load on the skid of the machine's implement during excavation in the mode of reciprocating approach in the absence of proven calculation methods should be considered the only way to evaluate the load on particular assembly as well as on the machine as a whole. This is necessary for power balance evaluation for the machine that works in the soil excavation mode and for the determination of the course stability of the machine

During the study we have concluded that the values of the skid power load components (longitudinal, transverse, vertical) are mainly determined by forming and movement of the soil traction prism that spills to the bottom of the excavation during digging. To the outmost this effect manifests near the walls of the excavation that causes the plated shape of the skid bearing surface which ensures its 'emersion' above the prism of the spilled soil.

We have determined the dependency of the skid load forces from kinematic characteristics of the implements translation modes during excavation. The consistent pattern that we have detected allows to minimize the power load of the skid by tweaking the duration of the implements additional turn at the end of each half-cycle which leads to the increase of the course stability during creation of the wide excavations.

KEYWORDS: SOIL, ADDITIONAL TURN, DIGGING, COURSE STABILITY, SKID, WORKING MODES, IMPLEMENT, POWER PARAMETER

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.

Мороз Валентин Валентинович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: frost2013@i.ua, тел. +380936794238, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Варфоломеев Юрій Михайлович, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, тел. +380964755574, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0001-5388-6624.

AUTHORS:

Musiiko 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., Candidate of Science (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.

Moroz Valentyn Valentynovych, Candidate of Science (Engineering), National Transport University, associate professor department of road machines, e-mail: frost2013@i.ua, tel. +380936794238, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Varfolomeev Yurii Mykhailovych, National Transport University, associate professor department of road machines, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, tel. +380964755574, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0001-5388-6624.

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.