



ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 624.132.3:631.312.5

<https://doi.org/10.31713/vt220241>

Лук'янчук О. П., к.т.н., доцент, Степанюк Б. І., майстер виробничого навчання, Форсюк С. Л. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.p.lukyanchuk@nuwm.edu.ua)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ РОЗРОБКИ ҐРУНТУ

Проведені експериментальні дослідження щодо визначення зусиль різання в умовах блокованого, напівблокованого, асиметрично блокованого та вільного способів розробки ґрунту. Експерименти проведені на ґрунтовому каналі кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин НУВГП. Проведено порівняльний аналіз збіжності результатів експериментальних та теоретичних досліджень для піщано-глинистого ґрунту. Визначено співвідношення між величинами зусиль різання ґрунту при різних умовах його розробки.

Ключові слова: ґрунт; зусилля; асиметрично блоковане різання; блоковане різання; напівблоковане різання; вільне різання.

Постановка проблеми. Для розробки ґрунту, залежно від умов та типу ґрунту, використовуються машини з ґрунторозробними робочими органами різного типу: активні, пасивні і пасивно-активні. Найбільшого поширення здобули робочі органи пасивного типу. Це достатньо прості конструкції, що являють собою одно або багатоелементні робочі органи, які розробляють ґрунт, як правило, на докритичних глибинах за рахунок енергії тягача. Усі ґрунторозробні робочі органи хоч і різні за конструкцією але мають одну спільну функцію, яка полягає у відділенні елементів ґрунту від загального масиву. Їх конструкція повинна бути такою щоб забезпечувати здійснення робочого процесу з найменшою енергоємністю.

Найбільш значущою складовою енергоємністю робочого процесу розробки ґрунту робочими органами є умови розробки ґрунту ріжучими елементами (різцями, зубами, скребками тощо) [1–

6].

Розробка ґрунту ґрунторозробними робочими органами може здійснюватися в умовах блокованого, асиметричного блокованого, напівблокованого та вільного різання ґрунту [7].

Метою роботи є проведення порівняльних експериментальних досліджень по визначенню зусиль для блокованого, асиметрично блокованого, напівблокованого та вільного способів різання ґрунту з визначенням співвідношення їх величин для супіщаних ґрунтів.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводились на ґрунтовому каналі кафедри «Будівельних, дорожніх та меліоративних машин» НУВГП. Ґрунтовий канал представляє собою бетоновану місткість прямокутного перерізу з розмірами $10 \times 1,8 \times 1,5$ м, заповнену попередньо розпушеною і ущільненою піщано-глинистою сумішшю вологістю ($\omega=14\%$). За числом ударів щільноміра ДорНДІ ($C_{уд}=4$ -удари) це ґрунт 1–2 категорії – твердий супісок зі щільністю $\rho=1,9 \dots 2,0$ г/см³.

Для проведення дослідів на ґрунтовому каналі використовувався динамометричний візок, зображений на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд ґрунтового каналу з динамометричним візком та дослідним обладнанням

На рамі візка 1 встановлено навісну рамну конструкцію 2, на її лобовій пластині 3 закріплюється експериментальний ґрунторозробний робочий орган 4, який при русі візка через систему важелів 5 діє на динамометр 6. Для регулюючого переміщення навісної конструкції в горизонтальному та вертикальному напрямку використовуються ручні маховики 7.

Елементи експериментальних ґрунторозробних робочих органів та ґрунтові умови, в яких проводились дослідження, представлено на рис. 2 та рис. 3.

Для коректного визначення співвідношення між величинами

зусиль різання ґрунту при різних умовах його розробки під час проведення експерименту необхідно дотримуватись докритично глибинних умов роботи для всіх способів розробки ґрунту ($h \leq h_{кр}$). Тому, для проведення експерименту, глибина різання (h) має бути рівною найменшій з критичних глибин для блокованого, напівблокованого, асиметрично блокованого та вільного способів розробки ґрунту при найменшому співвідношенні ширини різання до глибини (b/h) у наявному ґрунті.

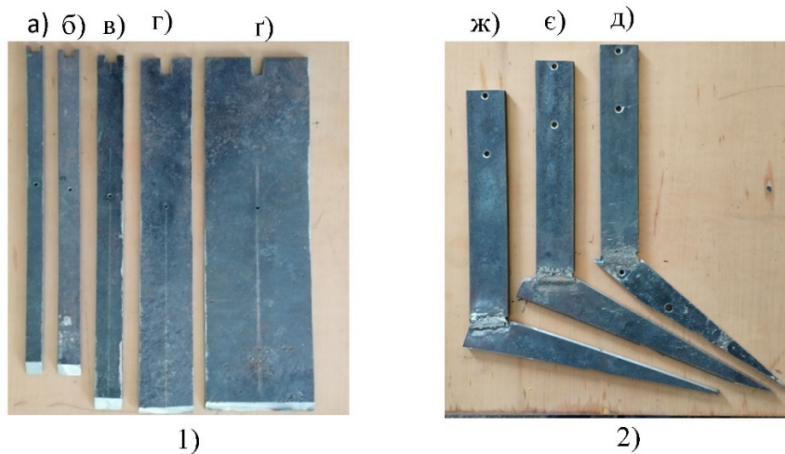
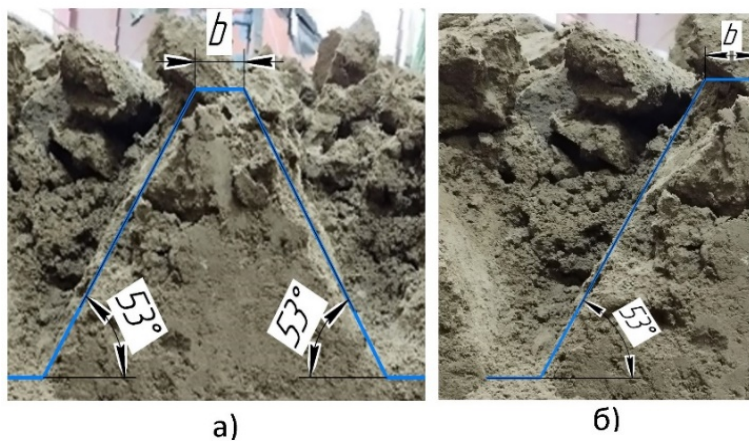


Рис. 2. Елементи експериментальних ґрунторозробних робочих органів:
1) змінні ножі з різною шириною різання (b): а) 0,02 м; б) 0,025 м; в) 0,05 м;
г) 0,1 м; г) 0,2 м; 2) змінні стояки з різним кутом різання (α_p): д) 40°;
є) 30°; ж) 20°



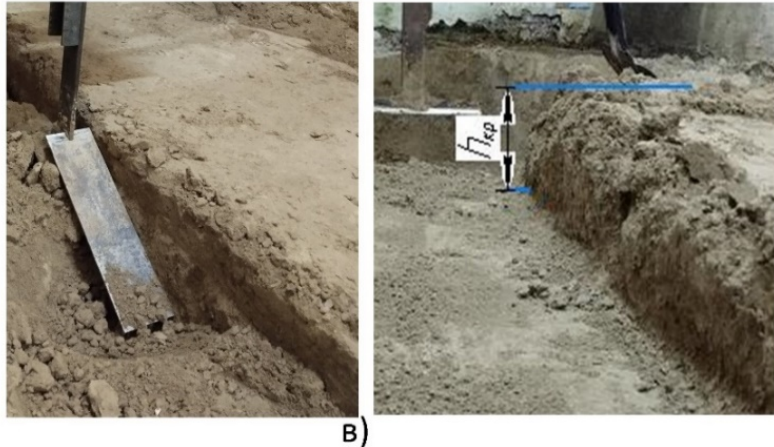


Рис. 3. Ґрунтові умови: а) для вільного різання; б) для напівблокованого різання; в) для асиметрично блокованого різання

Після відповідних розрахунків, для найменшого значення $b/h=0,25$ для проведення експерименту було прийнято глибину різання величиною $h=0,1$ м. Для асиметрично блокованого різання при $b/h=0,25$ робочий орган має працювати на закритичній глибині. Оскільки для уникнення цього треба було ще більше зменшувати глибину проведення експериментів, що вже було не доцільно, тому експеримент для такого варіанту не проводився.

Визначення зусиль за різних умов різання ґрунту проводилося на трьох рівнях співвідношень ширини різання до глибини для наступних значень $b/h=0,25; 0,5; 1$, глибині різання $h=0,1$ м та куті різання $\alpha_p=30^\circ$ (як найбільш вживаному).

Реєстрація та запис експериментальних даних здійснювались наступним чином: зусилля, що діяли на ріжучі ножі 4 ґрунторозробних робочих органів через систему важелів 5, передаються на динамометр 6, який їх реєструє і передає на ПК, на якому проводиться запис потоку безперервних реєстрових даних зусиль різання. Отримані дані представляються в цифровому та графічному вигляді (рис. 4–6).

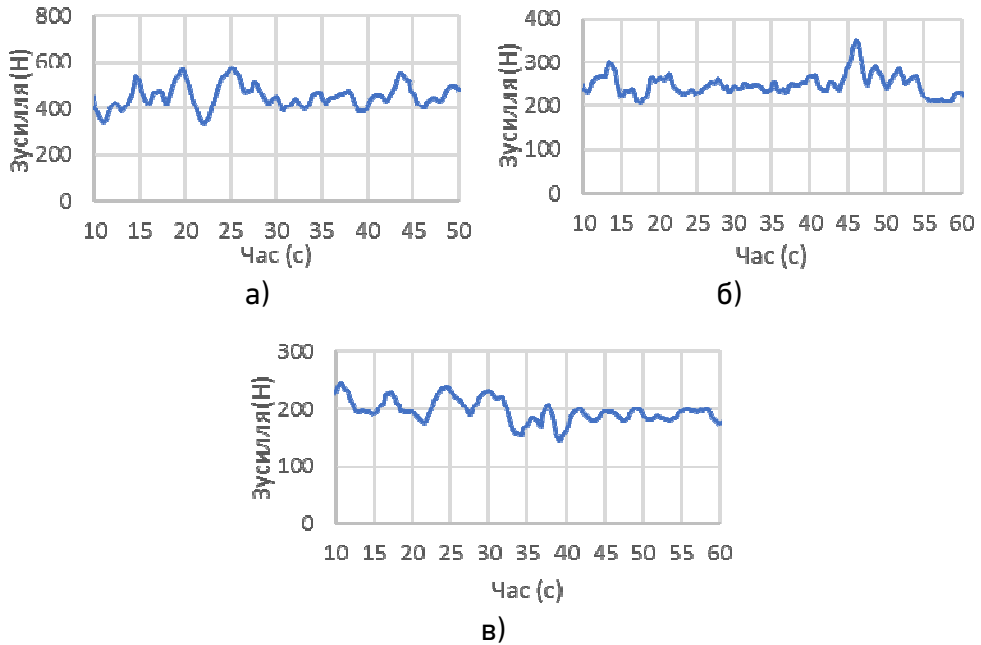


Рис. 4. Експериментальні дані зусилля різання при співвідношенні $b/h=0,25$:

а) блоковане різання; б) напівблоковане різання; в) вільне різання

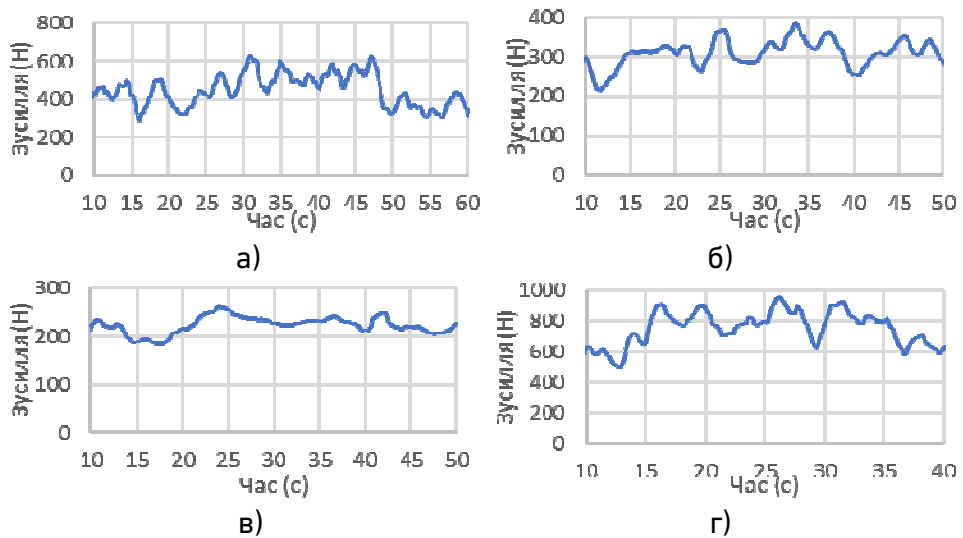


Рис. 5. Експериментальні дані зусилля різання при співвідношенні $b/h=0,5$:

а) блоковане різання; б) напівблоковане різання; в) вільне різання; г) асиметрично блоковане різання

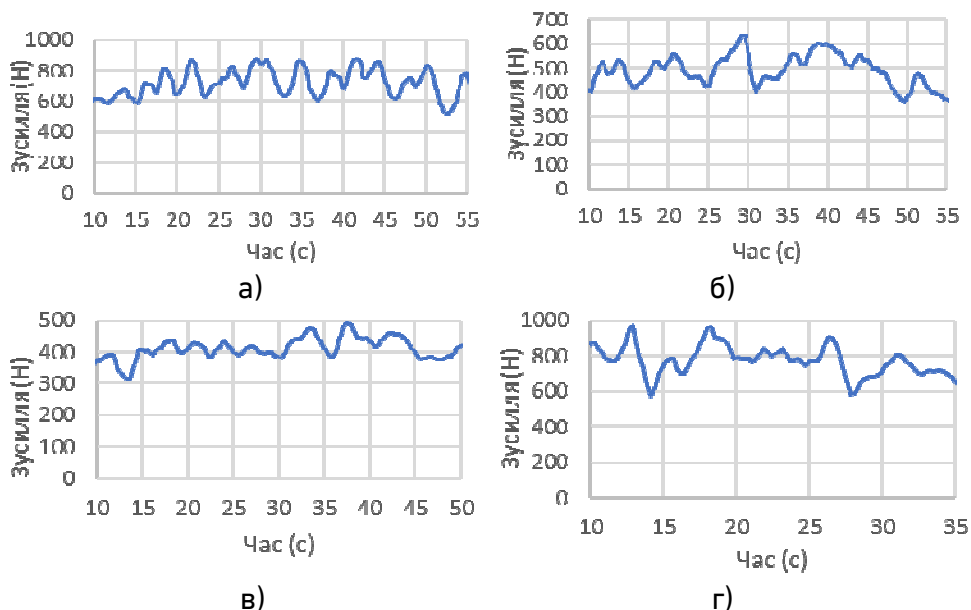


Рис. 6. Експериментальні дані зусилля різання при співвідношенні $b/h=1$:
а) блоковане різання; б) напівблоковане різання; в) вільне різання;
г) асиметрично блоковане різання

Після проведення статистичного аналізу отриманого цифрового масиву експериментальних даних розраховано усереднені значення зусиль різання для усталеного режиму, які наведено в табл. 1. Усталений режим різання встановлювався візуально за зміною форми графічної залежності в часі. Для розрахунків до уваги бралися отримані експериментальні дані після 10 с по часу проведення дослідів для всіх їх варіантів.

Таблиця 1

Експериментальні дані зусиль різання

b/h	$P_{б.}$, Н	$P_{а.б.}$, Н	$\Delta P_{а.б.}$, %	$P_{н.б.}$, Н	$\Delta P_{н.б.}$, %	$P_{в.}$, Н	$\Delta P_{в.}$, %
0,25	564,23	----	----	295,25	52,3	235,96	41,8
0,5	608,94	901,08	147,9	371,97	61,1	250,3	41,1
1	868,25	943,4	108,7	617,94	71,2	474,7	54,7

Прим. $P_{б.}$, $P_{а.б.}$, $P_{н.б.}$, $P_{в.}$ – зусилля різання, відповідно, при блокованому, асиметрично блокованому, напівблокованому та вільному способі; ΔP – відношення зусиль різання до зусилля при блокованому різанні

Для порівняння з даними теоретичних досліджень [7] паралельно було проведено аналітичні розрахунки зусиль різання для аналогічних параметрів та умов взаємодії ножа з ґрунтовим середовищем (табл. 2).

Таблица 2

Розрахункові дані зусиль різання

b/h	$P_{б.}$, Н	$P_{а.б.}$, Н	$\Delta P_{а.б.}$, %	$P_{н.б.}$, Н	$\Delta P_{н.б.}$, %	$P_{в.}$, Н	$\Delta P_{в.}$, %
0,25	691,1	–	–	430,65	62,31	235,39	34,1
0,5	758,81	824,3	108,64	498,08	65,64	302,68	39,9
1	894,21	959,75	107,33	632,93	70,78	437,27	48,9

Прим. $P_{б.}$, $P_{а.б.}$, $P_{н.б.}$, $P_{в.}$ – зусилля різання, відповідно, при блокованому, асиметрично блокованому, напівблокованому та вільному способі; ΔP – відношення зусиль різання до зусиль при блокованому різанні

За даними табл. 1, 2 отримано графіки залежності зусилля різання ріжучих елементів ґрунторозробних органів від співвідношення ширини ножа b до глибини розробки h (рис. 7) та графіки залежності відносного зусилля різання ΔP від співвідношення b/h при різних способах різання (рис. 8).

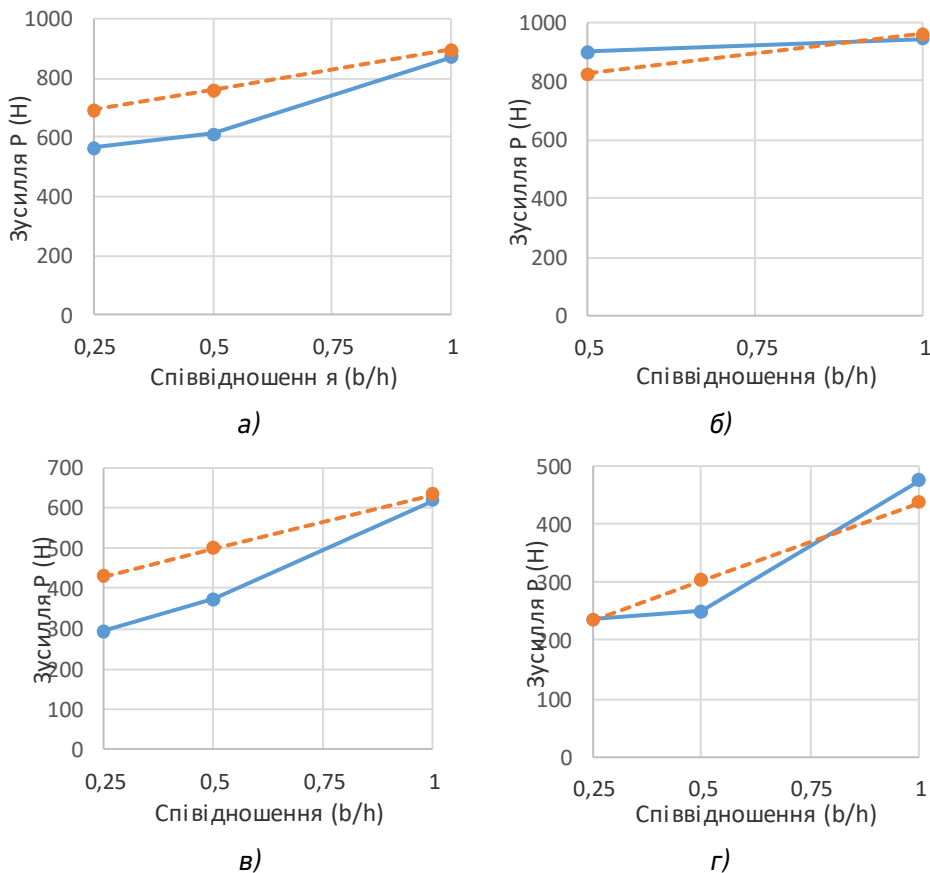


Рис. 7. Залежність зміни зусилля різання за різними способами: (-----) – теоретичні дані; (—) – експериментальні дані; а) – блоковане; б) – асиметрично блоковане; в) – напівблоковане; г) – вільне

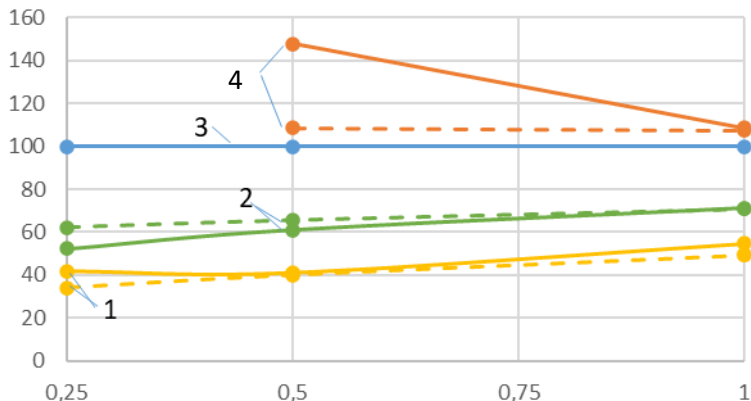


Рис. 8. Залежність зміни відносного зусилля різання за різними способами: (—) – експериментальні дані; (----) – теоретичні дані; 1) – вільне; 2) – напівблоковане; 3) – блоковане; 4) – асиметрично блоковане

Максимальна розбіжність між експериментальними та теоретичними даними отриманих абсолютних та відносних значень для блокованого різання становить 19,8%; для асиметрично-блокованого 9,3%; для напівблокованого 31,4%; для вільного способу різання 17%. Отримана розбіжність між експериментальними та теоретичними даними зусиль різання пояснюється складністю дотримання однорідності і точності ґрунтових умов при підготовці експериментів за різними способами.

Висновки. При розробці пасивними ґрунторозробними органами твердого супіску 1 категорії на глибину $h=0,1$ м з вологістю ґрунту $\omega=14\%$ для співвідношення $b/h=0,25\dots 1,0$ відносно зусилля різання при асиметрично блокованому різанні становить 110–150% від зусилля блокованого різання; при напівблокованому різанні – 50–70% від зусилля блокованого різання; при вільному різанні – 40–55% від зусилля блокованого різання.

При збільшенні ширини ріжучих елементів ґрунторозробних органів вплив співвідношення ширини ножа b до глибини розробки h на зусилля різання зменшується.

1. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі : монографія / С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, О. В. Стіньо, Р. В. Зоря ; за заг. ред. С. В. Кравця. Рівне : НУВГП, 2018. 235 с. 2. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке та ін. ; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. Рівне; Дніпропетровськ; Харків, 2010. 575 с. 3. Кравець С. В., Супонєв В. М., Гапонов О. О. Визначення критичноглибинних сил різання ґрунтів та енергоємності ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів. *Вісник Харківського національного*



автомобільно-дорожнього університету: зб. наук. пр. Харків : ХНАДУ, 2021. Вип. 92, т. 1. С. 192–199. **4.** Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ : навч. посіб. Рівне, 2008. 124 с. **5.** Кравець С. В., Бундза О. З., Супонев В. М., Гапонов О. О. Визначення довжини лемеша та сили різання ґрунту різцями (зубами) траншейних екскаваторів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*: зб. наук. пр. Харків : ХНАДУ, 2020. Вип. 88, т. 2. С. 78–85. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.78. **6.** Кравець С. В., Нечидюк А. А., Косяк О. В. Машини для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення) : підручник / за заг. ред. С. В. Кравця. Рівне : НУВГП, 2018. 270 с. **7.** Лук'яничук О. П., Степанюк Б. І. Визначення співвідношення зусиль за різними видами різання ґрунту в багатоелементних робочих органах. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : четверта всеукраїнська наук.-тех. інтернет-конференція, 26–27 квіт. 2023 р. Рівне : НУВГП, 2023. С. 43–46.

REFERENCES:

1. Krytychnohlybynni dvoiarusni hruntorozpushuvachi : monohrafiia / S. V. Kravets, M. P. Skobliuk, O. V. Stino, R. V. Zoria ; za zah. red. S. V. Kravtsia. Rivne : NUVHP, 2018. 235 s. **2.** Mashyny dlia zemlianykh robot : navch. posib. / L. A. Khmara, S. V. Kravets, V. V. Nichke ta in. ; pid zah. red. prof. L. A. Khmary ta prof. S. V. Kravtsia. Rivne; Dnipropetrovsk; Kharkiv, 2010. 575 s. **3.** Kravets S. V., Suponiev V. M., Haponov O.O. Vyznachennia krytychnohlybynykh syl rizannia gruntiv ta enerhoiemnosti lantsiuhovo-skrebkovykh transheinykh ekskavatoriv. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu* : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhNADU, 2021. Vyp. 92, t. 1. S. 192–199. **4.** Kravets S. V. Teoriia ruinuvannia robochykh seredovishch : navch. posib. Rivne, 2008. 124 s. **5.** Kravets S. V., Bundza O. Z., Suponiev V. M., Haponov O. O. Vyznachennia dovzhyny lemeshha ta syly rizannia ґruntu riztsiamy (zubamy) transheinykh ekskavatoriv. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu* : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhNADU, 2020. Vyp. 88, t. 2. S. 78–85. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.78. **6.** Kravets S. V., Nechydiuk A. A., Kosiak O. V. Mashyny dlia prokladannia pidzemnykh komunikatsii (naukovi osnovy stvorennia) : pidruchnyk / za zah. red. S. V. Kravtsia. Rivne : NUVHP, 2018. 270 s. **7.** Lukianchuk O. P., Stepaniuk B. I. Vyznachennia spivvidnoshennia zusyl za riznymy vydamy rizannia ґruntu v bahatoelementnykh robochykh orhanakh. *Innovatsiini tekhnolohii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system* : chetverta vseukrainska nauk.-tekh. internet-konferentsiia, 26–27 kvit. 2023 r. Rivne : NUVHP, 2023. S. 43–46.

Lukianchuk O. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Stepaniuk B. I., Master of Industrial Training, Forsiuk S. L. (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.p.lukyanchuk@nuwm.edu.ua)

EXPERIMENTAL STUDY OF CHANGES IN CUTTING FORCE DEPENDING ON SOIL DEVELOPMENT CONDITIONS

For soil development, depending on the conditions and type of soil, machines with soil-developing working bodies of various types are used: active, passive and passive-active. The most widespread are passive-type working bodies. The most significant component of the energy intensity of the working process of soil development by working bodies is the conditions of soil development by cutting elements. Experimental studies were conducted to determine the cutting forces in the conditions of blocked, semi-blocked, asymmetric blocked and free methods of soil development. The experiments were carried out on the soil channel of the Department of Construction, Road and Land Reclamation Machinery of the NUWEE. A comparative analysis of the convergence of experimental and theoretical research results for sandy-clay soil was carried out. The ratio between the values of soil cutting forces under different conditions of its development is determined. When developing hard sandy loam of category 1 with passive soil-developing tools to a depth of $h=0.1$ m with soil moisture $\omega=14\%$ for the ratio $b/h=0.25...1.0$, the relative cutting force during asymmetric blocked cutting is 110–150% of the blocked cutting force; during semi-blocked cutting – 50–70% of the blocked cutting force; during free cutting – 40–55% of the blocked cutting force. With an increase in the width of the cutting elements of the soil-developing tools, the influence of the ratio of the knife width b to the development depth h on the cutting force decreases.

***Keywords:* soil; effort; asymmetric blocked cutting; blocked cutting; semi-blocked cutting; free cutting.**