

УДК 621.879.3.064.2

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ З НЕПОВОРТНИМ ВІДВАЛОМ ТА КОМБІНОВАНОЮ ОБ'ЄМНОЮ НОЖОВОЮ СИСТЕМОЮ (КОНС)

ГЛАВАЦЬКИЙ К.Ц.¹, *к.т.н., доц.*,
ПРОСКУРНЯ В.М.², *асистент, пошукач*,
ГОРБЕНКО Ю.О.³, *пошукач*,
ПОПОВА О.С.⁴, *студент*.

¹ Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, б.2, м. Дніпро, Україна, тел. +38(067)5639845, e-mail: kazimir.glavatskii@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-3353-2543

² Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, б.2, м. Дніпро, Україна, тел. +38(067)9996722, e-mail: vitnik@ukr.net

³ Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, б.2, м. Дніпро, Україна, тел. +38(099)4773681, e-mail: vol_na@mail.ru

⁴ Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, б.2, м. Дніпро, Україна, тел. +38(095)7992586, e-mail: vol_na@mail.ru

Анотація. Постановка проблеми. Актуальність досліджень і розробки бульдозерного обладнання полягає у тому, щоб підвищити ефективність та продуктивність використання неповоротного бульдозерного відвала за рахунок використання у ньому комбінованої об'ємної ножової системи. **Мета статті.** Розробка ефективної конструкції КОНС для неповоротного бульдозерного відвала на основі застосування косою різання, яку можна використовувати і на інших машинах. **Висновок.** Бульдозери з неповоротним відвалом, в яких планується застосування КОНС, повинні мати значну перевагу порівняно з традиційними бульдозерами з неповоротним відвалом, в яких копання ґрунтів виконується плоскою ножовою системою тому, що очікуються більш високі показники ефективності роботи за рахунок: зменшення питомого опору ґрунту копанню, скорочення шляху копання до створення і набору повноцінної призми ґрунту та зменшення втрат ґрунту у бічних валиках, збільшення продуктивності виконання робіт.

Ключові слова: ніж, маса, система, різання, сила, опір, ефективність.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С НЕПОВОРТНЫМ ОТВАЛОМ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБЪЕМНОЙ НОЖЕВОЙ СИСТЕМОЙ (КОНС)

ГЛАВАЦЬКИЙ К.Ц.¹, *к.т.н., доц.*,
ПРОСКУРНЯ В.М.², *асистент, соискатель*,
ГОРБЕНКО Ю.А.³, *соискатель*,
ПОПОВА О.С.⁴, *студент*.

¹ Кафедра «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, тел. +38(067)5639845, e-mail: kazimir.glavatskii@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-3353-2543

² Кафедра «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, тел. +38(067)9996722, e-mail: vitnik@ukr.net

³ Кафедра «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, бы.2, г. Днепр, Украина, тел. +38(099)4773681, e-mail: vol_na@mail.ru

⁴ Кафедра «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, тел. +38(095)7992586, e-mail: vol_na@mail.ru

Аннотация. Постановка проблемы. Актуальность исследований и разработки бульдозерного оборудования состоит в том, чтобы повысить эффективность и производительность использования неповоротного бульдозерного отвала за счет использования в нем комбинированной объемной ножовой системы. **Цель статьи.** Разработка эффективной конструкции

КОНС для неповоротного бульдозерного отвала на основе применения косо́го резания, которую можно использовать и на других машинах. **Вывод.** Бульдозеры с неповоротным отвалом, в которых планируется применение КОНС, должны иметь значительное преимущество по сравнению с традиционными бульдозерами с неповоротным отвалом, у которых копанье грунта выполняется плоской ножевой системой потому, что ожидаются более высокие показатели эффективности работы за счет: уменьшения удельного сопротивления грунта копанью, сокращения пути копанья до создания и набора полной призмы грунта и уменьшения потерь грунта в боковых валиках, увеличение производительности выполнения работ.

Ключевые слова: чем, масса, система, резки, сила, сопротивление, эффективность.

RESEARCH AND DEVELOPMENT DOZER EQUIPMENT WITH ROTARY DUMP AND COMBINED VOLUMETRIC BLADE SYSTEM

GLAVATSKIY K.¹, *Ph. D., associate Professor,*

PROSKURNYA V.^{2*}, *assistant,*

GORBENKO Y.^{3*}, *applicant,*

POPOVA O.^{4*}, *student.*

¹ Department "Applied mechanics and engineering", Dnipropetrovsk national University of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan str. 2, Dnieper city, Ukraine, tel: +38(067)5639845, e-mail: kazimir.glavatskii@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-3353-2543

^{2*} Department "Applied mechanics and engineering", Dnipropetrovsk national University of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan str. 2, Dnieper city, Ukraine, tel: +38(067)9996722, e-mail: vitnik@ukr.net

^{3*} Department of "Applied mechanics and engineering", Dnipropetrovsk national University of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan str. 2, Dnieper city, Ukraine, tel: +38(099)4773681, e-mail: vol_na@mail.ru

^{4*} Department of "Applied mechanics and engineering", Dnipropetrovsk national University of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan str. 2, Dnieper city, Ukraine, tel: +38(095)7992586, e-mail: vol_na@mail.ru

Abstract. Statement of the problem. The relevance of research and development of the dozer equipment is to increase efficiency and productivity fixed dozer blade by use of a combined volumetric knife system. **The purpose of the article.** Development of efficient design, fixed dozer blade based on the application of oblique cutting, which can be used on other machines. **Conclusion.** Bulldozers with fixed blade, which is planned the application, should have a significant advantage compared with traditional bulldozers with fixed blade, which is digging the soil runs flat knife system because of expected higher efficiency by: reducing the resistivity of the soil digging, cutting path of the digging to create and set the full soil prism and reducing losses of soil in the side bolsters, the performance of work.

Keywords: than, mass, system, cutting power, resistance, efficiency.

Постановка проблеми. В наш час велику увагу приділяють модернізації існуючих або розробці нових машин для земляних робіт та підвищення їх енергоефективності. На сьогоднішній день відомі дослідження і конструктивні рішення плоских ножових систем (НС): традиційного типу із розміщенням ріжучих країв ножів на одній лінії; з виступаючим середнім ножом (ВСН); з виступаючими ножами і бічними косинками (ВН і БК), а також просторових НС з розміщенням ножових пластин по прямокутному профілю, а також НС з ножовими пластинами трапецієподібної форми. Їх проведення на рівні наукових робіт свідчить про актуальність розробки нових видів НС для бульдозерів [1 – 5, 9 - 11].

Актуальність досліджень і розробки бульдозерного обладнання полягає у тому, щоб підвищити ефективність та продуктивність використання неповоротного бульдозерного відвала за рахунок використання у ньому НС

нового типу, а саме, комбінованої об'ємної ножової системи (КОНС).

Оскільки запропоновані варіанти використання НС на бульдозерах у науково-технічній літературі відсутні, то запропоновані технічні рішення запатентовані. Таким чином запропонована тема досліджень є актуальною. Крім того, актуальність підтверджується широким використанням бульдозерів у будівництві при створенні різноманітних ґрунтових споруд (доріг, насипів, дамб, тощо).

Мета статті. Розробка ефективної конструкції КОНС для неповоротного бульдозерного відвала на основі застосування косо́го різання, яку можна використовувати і на інших машинах групи ЗТМ.

Теоретичні і експериментальні дослідження процесу взаємодії робочих органів (РО) бульдозерів з ґрунтом повинні призвести до спільного результату – зниження енергоємності процесу копання ґрунту та зменшення коефіцієнта питомого опору копання.

Технічна задача, що вирішується КОНС, спрямована на зниження енергоємності копання зменшення втрат ґрунту в бокові валики – вирішується шляхом використання виключно косоного копання ґрунту, створення умов спрямування відділеної від масиву ґрунтової стружки всередину призми ґрунту перед відвалом, заміни блокованого копання ґрунту напіввільним чи вільним і утворення плоскої чи неплоскої поверхні ґрунту бульдозерним відвалом.

Виклад основного матеріалу. Бульдозери застосовують для зведення насипів із ґрунтів бічних резервів, розробки виїмок, грубого планування поверхонь земляних споруджень, для засипання ровів, траншей, обвалування споруджень, а також для підготовчих робіт – валки окремих дерев, зрізки чагарнику, корчування окремих пнів і каменів. Бульдозери використовують також для розподілу ґрунтових відвалів при роботі екскаваторів і землевозів, утворення штабелів сипучих матеріалів (піску, щебню) і їхньої подачі до переробних агрегатів, для снігоочищення, формування терас на косогорах, виробництва розкривних робіт у кар'єрах.

Ножові системи. Ефективність бульдозерного обладнання підвищується при використанні накопичувальних відкрітків (некеровані та керовані), створенні відповідної форми відвалів у плані (сферична і напівсферична), застосуванні адаптованого відвала, що забезпечує зміну кутів різання, перекидання, кривизни, конфігурації ріжучого ножа та ін.

Ножові системи при цьому забезпечують зниження енергоємності копання ґрунту і виконання супутніх робіт.

Запропонована КОНС бульдозера. Відвал бульдозера з КОНС (рис. 1) включає традиційний неповоротний відвал 1, ріжучі ножі 2 з ріжучими краями 3 та бічні косинки 4. Ріжучі ножі 2 виконані з окремих пластин і з'єднані між собою попарно і з відвалом 1. Ріжучі краї 3, відрізки яких позначені точками A , B , C , ножів 2, можуть знаходитися в одній чи в різних площинах, розташовані симетрично відносно подовжньої вертикальної площини симетрії відвала 1 під заданим кутом між собою у фронтальній і вертикальній проекції, можуть бути прямолінійними чи криволінійними, кількість пар може бути задана, а кут нахилу пластин ножів 2 до горизонталі задається розміщенням ножової системи в межах глибини копання традиційного ножа, або дорівнює його раціональному значенню для бульдозерів. Відвал з КОНС має перевагу тому, що при його роботі створюється безступінчасте розподілення зусиль в межах фрагменту НС. КОНС включає в себе фрагмент, що складається з пари зустрічно направлених ножів [6].

Конструктивно КОНС можна розмістити з боку лобової площини відвала бульдозера, що

ґрунту бульдозерним відвалом, поліпшення нагромадження та переміщення ґрунту по відвалу і характеризується висотою відвала H_B , не враховуючи висоту козирка H_K (рис. 2)но направлених ножів [6].

При цьому розміщення КОНС з боку лобової площини відвала бульдозера характеризується розмірами H_1 , H_2 , H_3 .

Розміри H_1 і H_2 характеризують пропорційний розподіл загальної товщини стружки $H_{кон}$, вирізаної виступаючими точками A і B вперед на величину L і вище на величину H_2 точки C ріжучого краю КОНС. Розмір H_3 характеризує розміщення точок A і B попереду і нижче точки C .

Сутність процесу різання і копання ґрунту відвалами з КОНС. При необхідності копання ґрунту з утворенням плоскої поверхні після проходу відвала бульдозера можна застосовувати його комплектацію КОНС по рис. 1 та рис. 2. Тобто, точки A , B , C , що характеризують ріжучий край, розміщені в одній горизонтальній площині.

При необхідності створити профільну поверхню ґрунту після проходу відвала бульдозера з КОНС, в якій точки A , B і C розміщені в одній горизонтальній площині (рис. 3, а), нахилом відвала вперед чи назад можна створити їх вертикальне зміщення, відповідно H_3 і H_2 (рис. 2 та рис. 3, б). Аналогічно вказаному, при необхідності створити плоску поверхню ґрунту після проходу відвала бульдозера з КОНС, в якій точки A , B і C мають вертикальне зміщення H_2 і H_3 , нахилом відвала відповідно вперед чи назад можна їх розмістити в одній площині. Також регулюванням кута нахилу відвала вперед чи назад, тобто зміною кута копання можна регулювати висоту профілю ґрунту після проходу відвала бульдозера.

При цьому, подовжня відстань L між точками A , B і точкою C згідно (рис. 2) вибирається за умови заміни блокованого копання напіввільним чи вільним.

При необхідності копання ґрунту з утворенням профільної поверхні після проходу відвала бульдозера можна застосовувати його комплектацію КОНС згідно рис. 4. Залежно від типу ліній ріжучого краю КОНС відвала бульдозера розділені на ті, в яких він являє собою ламану лінію, що складається з прямолінійних ділянок, та з криволінійним ріжучим краєм у вигляді дуг кола певного радіуса.

У даному випадку тип лінії ріжучого краю впливатиме на енергоємність процесу копання ґрунту. Очікується відносно менша енергоємність копання ґрунту КОНС з криволінійним ріжучим краєм [7, 8].

Планування експериментальних досліджень на фізичних моделях відвала бульдозера з КОНС. З метою виявлення взаємного впливу параметрів робочого обладнання (РОБ) експериментальні дослідження проводилися на підставі теорії планування експериментів, а результати

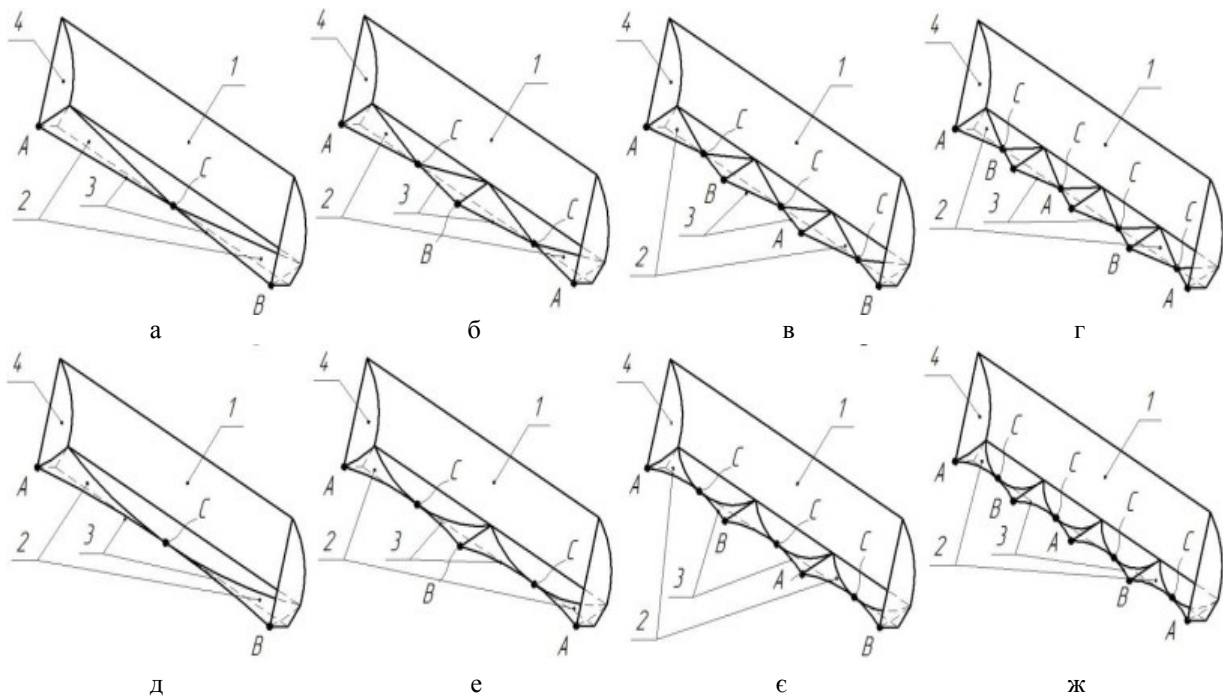


Рис. 1. Відвали бульдозера з КОНС: А, В, С – характерні точки ріжучих країв; а – з однією, двома, трьома, чотирма парами ріжучих прямолінійних ножів; д – ж – те ж криволінійних ножів; 1 - традиційний неповоротний відвал; 2 - ріжучі ножі; 3 - ріжучі краї; 4 - бічні косинки

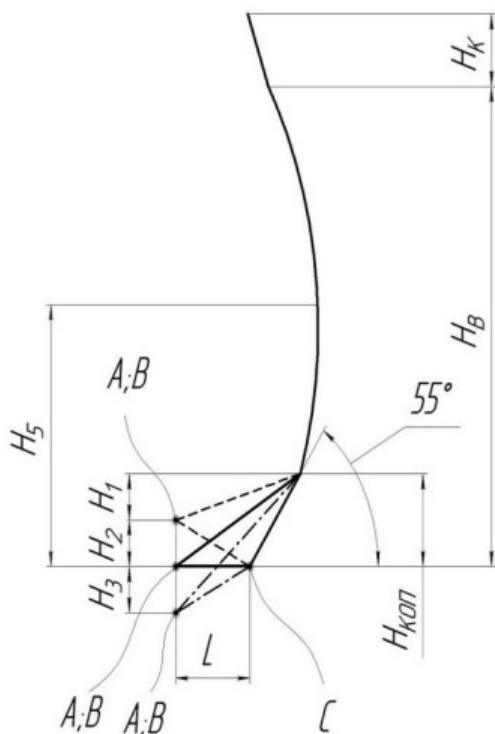


Рис. 2. Конструктивна схема відвала з КОНС

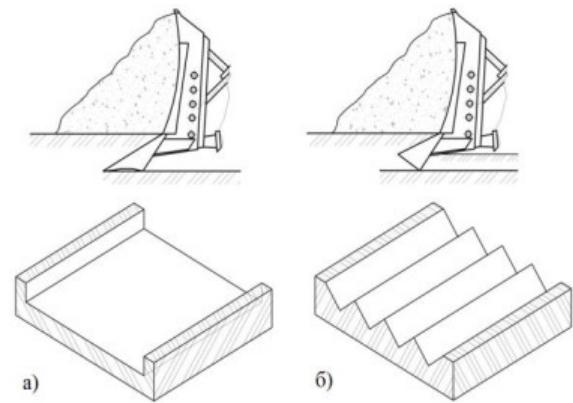


Рис. 3. Профілі ґрунту, утворені бульдозерним відвалом з КОНС: а – плоский; б – рельєфний

оброблялися методами теорії ймовірності та математичної статистики.

Основні параметри РОБ бульдозера з КОНС, що оптимізуються і змінювані в ході експериментів (табл. 1):

- подовжня відстань між точками А-В-С, зміна якого характеризує на яку відстань L (рис. 2) будуть віддалені точки А і В від точки С в горизонтальній площині;

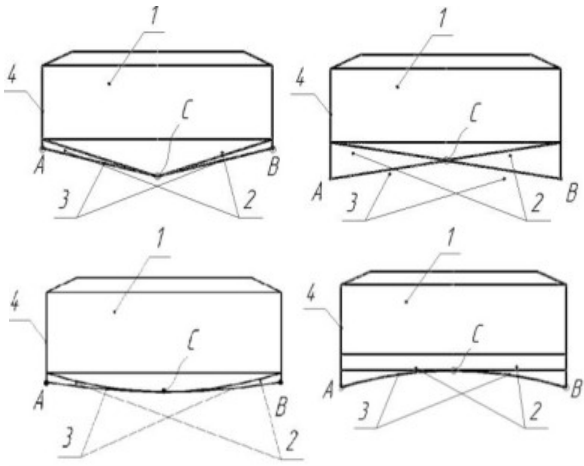


Рис. 4. Відвали з КОНС вид спереду

- вертикальна відстань між точками $A-B-C$, зміна якого характеризує на яку величину H_2 чи H_3 , будуть зміщені точки A і B відносно точки C у вертикальному напрямку;
- товщина стружки h ;
- кількість пар ножів, зміна якого забезпечувало варіювання кількості пар ножів від однієї до шести.

Таблиця 1

Планування експериментальних досліджень КОНС

Параметр (фактор)	Рівні факторів					Інтервал
	-2	-1	0	+1	+2	
X1 - подовжня відстань між точками $A-B-C$	30	40	50	60	70	10
X2 - вертикальна відстань між точками $A-B-C$	5	10	15	20	25	5
X3-кількість пар ножів	1	2	3	4	5	1
X4-товщина стружки	10	15	20	25	30	5

Для теоретичного визначення питомого коефіцієнта опору ґрунту копанню КОНС скористаємося рівнянням тягового балансу бульдозера:

$$T_{зч} \geq T_{дв} \geq \sum P_i, \quad (1)$$

де $T_{зч}$ – сила тяги за зчепленням; $T_{дв}$ – сила тяги за двигуном; $\sum P_i$ – сумарний опір руху бульдозера; $T_{зч} = G_{зч} \cdot \phi_{зч}$,

де $G_{зч}$ – зчїпна вага бульдозера.

Сумарний опір руху бульдозера:

$$\sum P_i = P_{01} + P_{тр} + P_{пл.спр}, \quad (2)$$

де P_{01} – дотична складова опору ґрунту різанню; $P_{тр}$ – опір тертя призми ґрунту; $P_{пл.спр}$ – опір площі спрацювання.

Можна виразити рівняння у вигляді:

$$G_{зч} \cdot \phi_{зч} = P_{01} + P_{тр} + P_{пл.спр}.$$

Тоді: $P_{01} = G_{зч} \cdot \phi_{зч} - P_{тр} - P_{пл.спр}$.

Дотична складова опору ґрунту різанню:

$$P_{01} = k_{num} \cdot h \cdot b, \quad (3)$$

де k_{num} – питомий коефіцієнт опору копанню;

h – максимальна товщина стружки.

В результаті з попереднього рівняння можна

$$\text{встановити: } k_{num} = \frac{P_{01}}{h \cdot b}.$$

Визначення довжини ріжучого краю ножа для КОНС з ламаною лінією лез ножів. Теоретичний розрахунок проводимо для горизонтального та вертикального зміщення точок $A-B-C$ КОНС на базі фізичної моделі відвала бульдозера ДЕТ-250, у масштабі 1:10 де:

- максимальна дотична складова опору різання ґрунту $P_{01} = 149,4$ кН;

- максимальна товщина стружки $h_{max} = 0,450$ м;

- ширина секції c , що залежить від кількості пар ножів: для однієї пари ножів ширина секції $c = 454$ мм; для двох пар $c = 257$ мм; для трьох пар $c = 151$ мм; для чотирьох пар $c = 114$ мм; для п'яти пар $c = 91$ мм; для шести пар $c = 76$ мм.

Розрахунок параметрів для горизонтального зміщення країв ножів. Довжина ріжучого краю ножа для горизонтального зміщення (точки $A-B-C$ у одному рівні) та вертикального зміщення (точки $A-B-C$ вище або нижче рівня):

$$l_{ріж} = \sqrt{c^2 + \frac{16}{3}L^2}, \quad (4)$$

де c – ширина секції; L – подовжня відстань між точками $A-B-C$ (мм) (з табл. 2).

Використовуючи вихідні дані визначено довжину ріжучого краю ножів для горизонтального зміщення точок $A-B-C$. Результати зведені у табл. 2.

Таблиця 2

Довжина ріжучої частини ножів $l_{ріж}$

Параметр	Кількість пар ножів					
L	1	2	3	4	5	6
30	459	237	166	133	114	103
40	463	245	177	147	130	120
50	468	255	190	162	147	138
60	475	266	205	179	166	158
70	482	279	221	198	186	179
c	454	227	151	114	91	76

Питомий коефіцієнт опору копанню для КОНС:

$$k_{num} = \frac{P_{01}}{h \cdot b} n, \quad (5)$$

де b – прийнято як довжину ріжучої частини ножа, тобто $b = l_{ріж}$; h – максимальна товщина стружки; n – кількість пар ножів.

Результати зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Питомий коефіцієнт опору копання ґрунту при горизонтальному зміщенні

Параметр	Кількість пар ножів					
	1	2	3	4	5	6
$l_{ріж}$	0,459	0,237	0,166	0,133	0,114	0,103
k_{num}	0,723	1,4	2	2,5	2,91	3,2
$l_{ріж}$	0,463	0,245	0,177	0,147	0,13	0,12
k_{num}	0,72	1,36	1,88	2,26	2,55	2,77
$l_{ріж}$	0,468	0,225	0,19	0,162	0,147	0,138
k_{num}	0,71	1,48	1,75	2,05	2,26	2,41
$l_{ріж}$	0,475	0,266	0,205	0,179	0,166	0,158
k_{num}	0,7	1,25	1,62	1,85	2	2,1
$l_{ріж}$	0,482	0,279	0,221	0,198	0,186	0,179
k_{num}	0,69	1,19	1,5	1,68	1,78	1,85

Побудований графік залежності питомого коефіцієнта опору різанню від довжини ріжучої частини ножів та постійної подовжньої відстані точок $A-B-C$ (рис. 5).

Розрахунок параметрів для вертикального зміщення країв ножів (точок $A-B-C$). Визначення довжини ріжучого краю ножів та коефіцієнта питомого опору копанню для вертикального зміщення (точки $A-B-C$ вище або нижче рівня). Довжина ріжучого краю ножів:

$$l_{ріж} = \sqrt{c^2 + \frac{16}{3} h_1^2}, \quad (6)$$

де c – ширина секції; h_1 – висота проекції ножа на вертикальну площину (згідно рис. 2: при $A-B-C$ у горизонтальній площині $h_1 = H_1 + H_2$; при C вище $A-B$ - $h_1 = H_1 + H_2 + H_3$; при C нижче $A-B$ - $h_1 = H_2$); L – подовжня відстань між точками $A-B-C$; h_2 – вертикальна відстань між точками $A-B-C$ (табл. 1).

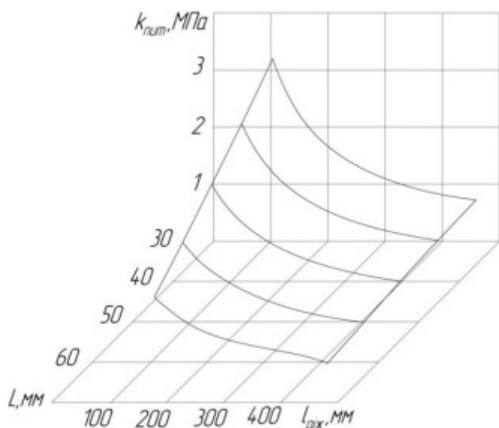


Рис. 5. Графік зміни питомого опору копання для горизонтального зміщення точок $A-B-C$

Результати зведені в табл. 4.

Таблиця 4

Висота проекції ножа на вертикальну площину

Параметр	L				
	30	40	50	60	70
h_2	значення h_1 із графіка				
5	30,41	40,31	50,25	60,21	70,18
10	31,62	41,23	51	60,83	70,71
15	33,54	42,72	52,2	61,85	71,59
20	39,05	44,72	53,85	63,24	72,8
25	39,05	47,17	55,9	65	74,33

Визначено довжину ріжучого краю ножів для усіх випадків вертикального зміщення точок $A-B-C$.

Таблиця 5

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c = 454$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,459	0,463	0,469	0,475	0,482
k_{num}	0,723	0,717	0,708	0,699	0,689
$h_2=10$	0,46	0,464	0,469	0,475	0,482
k_{num}	0,722	0,716	0,708	0,699	0,689
$h_2=15$	0,461	0,465	0,47	0,476	0,483
k_{num}	0,72	0,714	0,706	0,697	0,687
$h_2=20$	0,462	0,466	0,471	0,477	0,484
k_{num}	0,719	0,712	0,705	0,696	0,686
$h_2=25$	0,463	0,467	0,472	0,478	0,485
k_{num}	0,717	0,711	0,703	0,695	0,685

При кожному зміщенні точок ріжучого краю визначено питомий коефіцієнт опору копанню для довжин ріжучого краю ножів.

Результати зведені в табл. 5 – 10.

Графік залежності питомого коефіцієнта опору різання від довжини ріжучого краю ножів та постійного вертикального зміщення точок $A-B-C$ показаний на рис. 6.

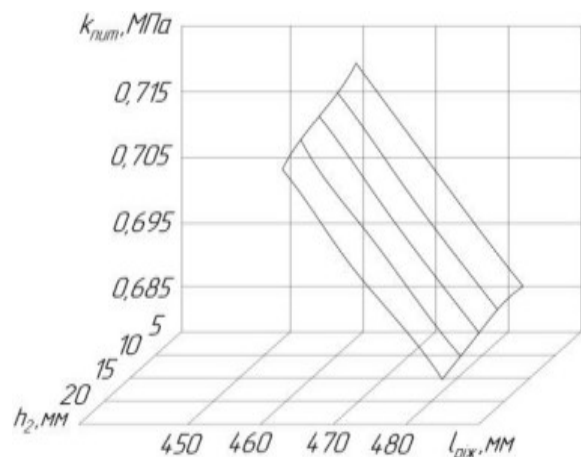


Рис. 6. Графік зміни питомого опору копання для вертикального зміщення точок $A-B-C$

Таблиця 6

Питомий коефіцієнт опору копанню при ширині секції $c = 227$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,238	0,245	0,255	0,266	0,279
k_{num}	1,395	1,36	1,3	1,248	1,189
$h_2=10$	0,238	0,246	0,256	0,267	0,28
k_{num}	1,39	1,35	1,3	1,24	1,19
$h_2=15$	0,24	0,248	0,257	0,268	0,281
k_{num}	1,38	1,34	1,29	1,24	1,18
$h_2=20$	0,242	0,249	0,259	0,27	0,282
k_{num}	1,37	1,33	1,28	1,23	1,18
$h_2=25$	0,244	0,252	0,261	0,272	0,285
k_{num}	1,36	1,32	1,27	1,22	1,16

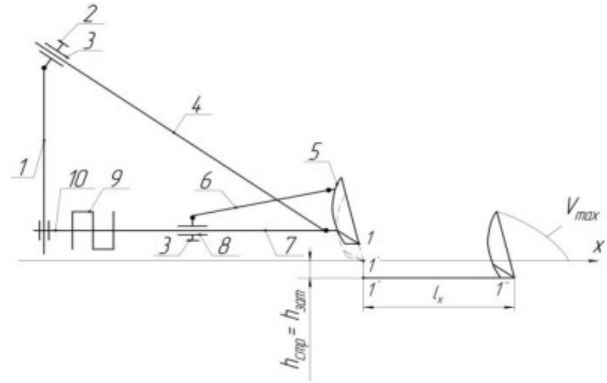


Рис. 7. Схема підвіски РОБ на стенді для дослідження процесу копання ґрунту: 1 - задня стінка; 2, 3, 8 – фіксатори і шарніри-повзуни; 9 – датчики; 4 - гідроциліндр підйому-опускання відала; 5 – відвал; 6 – розкис; 7, 10 – штовхаючий брус.

Таблиця 7

Питомий коефіцієнт опору копанню при ширині секції $c = 191$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,167	0,177	0,19	0,205	0,222
k_{num}	1,99	1,88	1,75	1,62	1,5
$h_2=10$	0,17	0,179	0,192	0,206	0,222
k_{num}	1,95	1,85	1,73	1,61	1,5
$h_2=15$	0,17	0,18	0,193	0,208	0,224
k_{num}	1,95	1,84	1,72	1,6	1,48
$h_2=20$	0,172	0,183	0,196	0,21	0,226
k_{num}	1,93	1,81	1,69	1,58	1,47
$h_2=25$	0,176	0,186	0,199	0,213	0,229
k_{num}	1,89	1,78	1,67	1,56	1,45

Лабораторне дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом із КОНС. На схемі (рис. 7) зображено роботу відала від початку роботи до повного набору призми ґрунту.

Таблиця 8

Питомий коефіцієнт опору копанню при ширині секції $c = 114$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,134	0,147	0,163	0,18	0,198
k_{num}	2,48	2,26	2,04	1,84	1,68
$h_2=10$	0,135	0,149	0,164	0,181	0,199
k_{num}	2,46	2,23	2,02	1,83	1,67
$h_2=15$	0,138	0,151	0,166	0,183	0,201
k_{num}	2,41	2,2	2	1,81	1,65
$h_2=20$	0,141	0,154	0,169	0,185	0,203
k_{num}	2,35	2,16	1,96	1,79	1,64
$h_2=25$	0,145	0,158	0,172	0,188	0,206
k_{num}	2,29	2,1	1,93	1,77	1,61

Спочатку відвал знаходиться у початкову положенні - точка 1, потім відбувається опускання РО до поверхні ґрунту (точка 1'). Після цього спостерігаємо етап заглиблення НС на максимальну глибину заглиблення (точка 1''), пройшовши певний відрізок шляху l_x - довжина набору призми, відвал повністю заповнює ґрунтовою призму ґрунтом (точка 1''') - положення максимального заповнення об'єму ґрунтової призми відала.

На рис. 8 показана фотограма процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом з КОНС з характерними положеннями робочого обладнання і, зокрема, відала. При цьому слід звернути увагу на характерні зсуви ґрунту у призму, що сприяє зменшенню його втрат та на довжину шляху набору ґрунту у призму. Ці особливості процесу копання сприяють зменшенню питомої енергоємності та підвищенню продуктивності.

Таблиця 9

Питомий коефіцієнт опору копанню при ширині секції $c = 91$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,115	0,13	0,147	0,166	0,186
k_{num}	2,89	2,55	2,26	2	1,78
$h_2=10$	0,117	0,132	0,149	0,167	0,187
k_{num}	2,84	2,52	2,23	1,99	1,78
$h_2=15$	0,12	0,134	0,151	0,169	0,189
k_{num}	2,77	2,48	2,2	1,96	1,76
$h_2=20$	0,123	0,138	0,154	0,172	0,191
k_{num}	2,7	2,41	2,16	1,93	1,74
$h_2=25$	0,128	0,142	0,158	0,176	0,194
k_{num}	2,59	2,34	2,1	1,89	1,71

Таблиця 10

Питомий коефіцієнт опору копанню при ширині секції $c = 76$ мм

Параметр	$h_1=30$	$h_1=40$	$h_1=50$	$h_1=60$	$h_1=70$
$h_2=5$	0,103	0,12	0,139	0,158	0,179
k_{num}	3,22	2,77	2,39	2,1	1,85
$h_2=10$	0,105	0,122	0,14	0,16	0,18
k_{num}	3,16	2,72	2,37	2,08	1,84
$h_2=15$	0,109	0,125	0,143	0,162	0,182
k_{num}	3,05	2,66	2,32	2,05	1,82
$h_2=20$	0,113	0,128	0,146	0,165	0,185
k_{num}	2,94	2,59	2,27	2,01	1,79
$h_2=25$	0,118	0,133	0,146	0,168	0,188
k_{num}	2,81	2,5	2,27	1,98	1,77

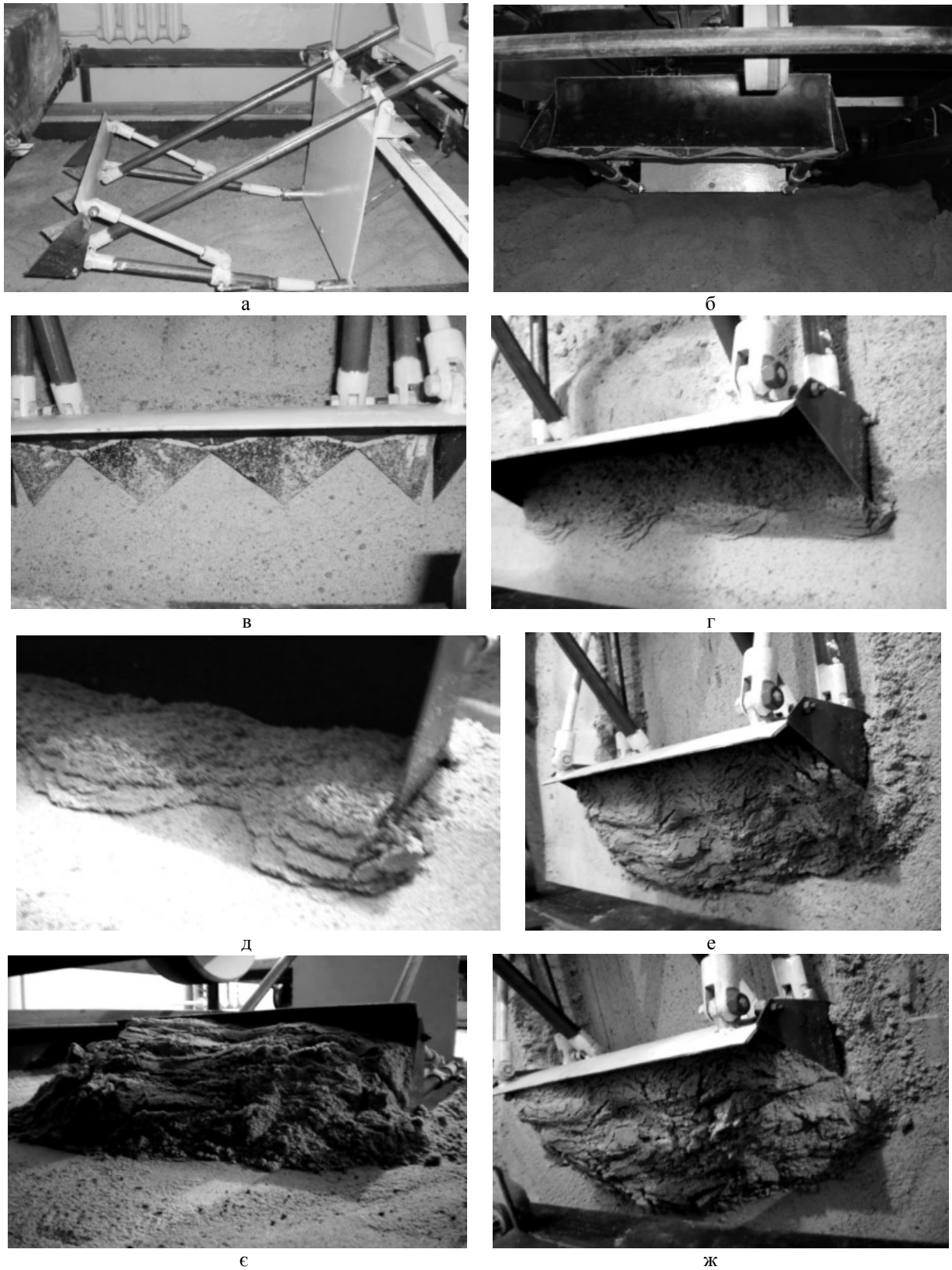


Рис. 8. Фотограма процесу копання ґрунту бульдозерним обладнанням: а – загальний вигляд; б – вид спереду; в – вихідне положення; г, д – початок набору призми; е, ж – транспортування ґрунту відвалом з КОНС

Слід зазначити, що збільшення призми волочіння ґрунту перед відвалом відбувається у тому числі і за рахунок встановлення бічних косинок відвала збільшених розмірів.

Загальне зменшення питомої енергоємності процесу копання ґрунту відбувається і за рахунок заміни блокованого копання ґрунту напіввільним.

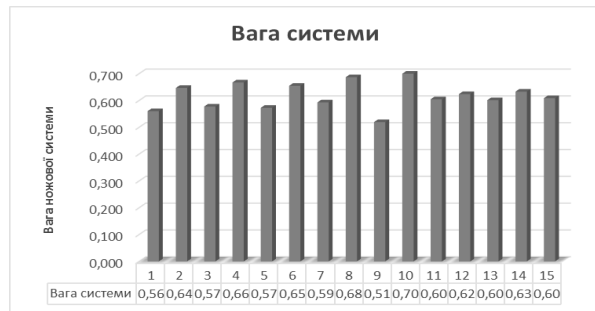
Підвищення продуктивності – за рахунок зменшення втрат ґрунту у бічні валики та скорочення часу циклу.

Визначено вагу ножевої системи для трьох варіантів (рис. 2): точки А-В-С у одній площині, Точки А і В вище чи нижче точки С (табл. 11). Відповідно до цих значень побудовані діаграми, в яких показано залежність ваги моделей НС від довжини ріжучого краю ножа (рис. 9 - 11).

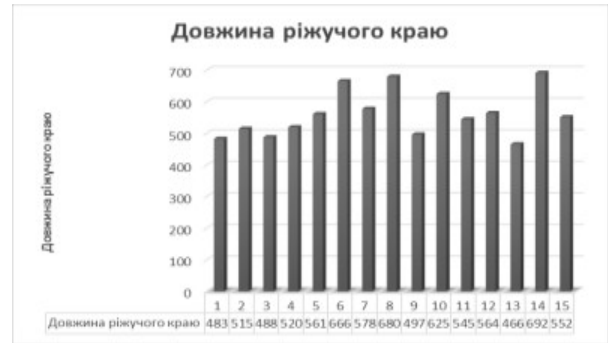
Таблиця 11

Вага моделей КОНС та довжина ріжучого краю

№ КОНС	Точки А і В вище чи нижче точки С		Точки А-В-С у горизонтальній площині	
	довжина ріж. краю	вага КОНС	довжина ріж. краю	вага КОНС
1	483,04	0,560	471	0,791
2	515,08	0,647	495,72	0,966
3	487,96	0,577	471	0,791
4	519,72	0,667	495,72	0,966
5	561,2	0,573	518,72	0,782
6	665,52	0,655	603,84	0,927
7	578	0,593	518,72	0,782
8	679,76	0,687	510,88	0,942
9	496,62	0,519	473,76	0,709
10	625,02	0,700	576,42	1,037
11	544,98	0,605	514,8	0,867
12	564,48	0,624	514,8	0,867
13	465,84	0,601	459,88	0,876
14	691,8	0,633	608,1	0,85
15	551,58	0,609	514,8	0,867

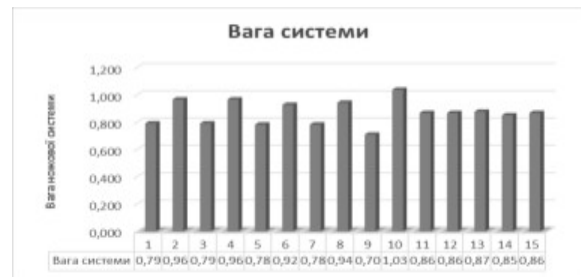


а

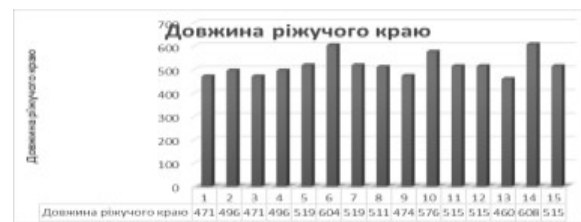


б

Рис. 9. Параметри моделей КОНС які працюють вище горизонталі: а – вага моделей КОНС; б – довжина ріжучого краю моделей КОНС

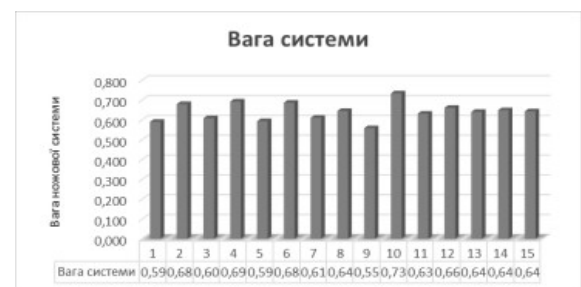


а

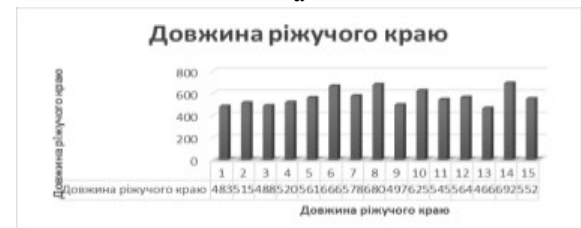


б

Рис. 10. Параметри моделей КОНС які працюють в горизонтальній площині: а – вага моделей КОНС; б – довжина ріжучого краю моделей КОНС



а



б

Рис. 11. Параметри моделей КОНС при розміщенні точок А-В нижче С: а – вага моделей КОНС; б – довжина ріжучого краю ножів моделей КОНС

Технічне прогнозування щодо бульдозерного обладнання з КОНС. Можливе ефективне використання КОНС в якості елемента багатофункціонального робочого обладнання для бульдозера (рис. 12, рис. 13, а, рис. 14). За допомогою такого обладнання можливо виконувати такі роботи, як: пряме копання ґрунту, косе копання ґрунту та ущільнення ґрунту (рис. 13, б, рис. 15).

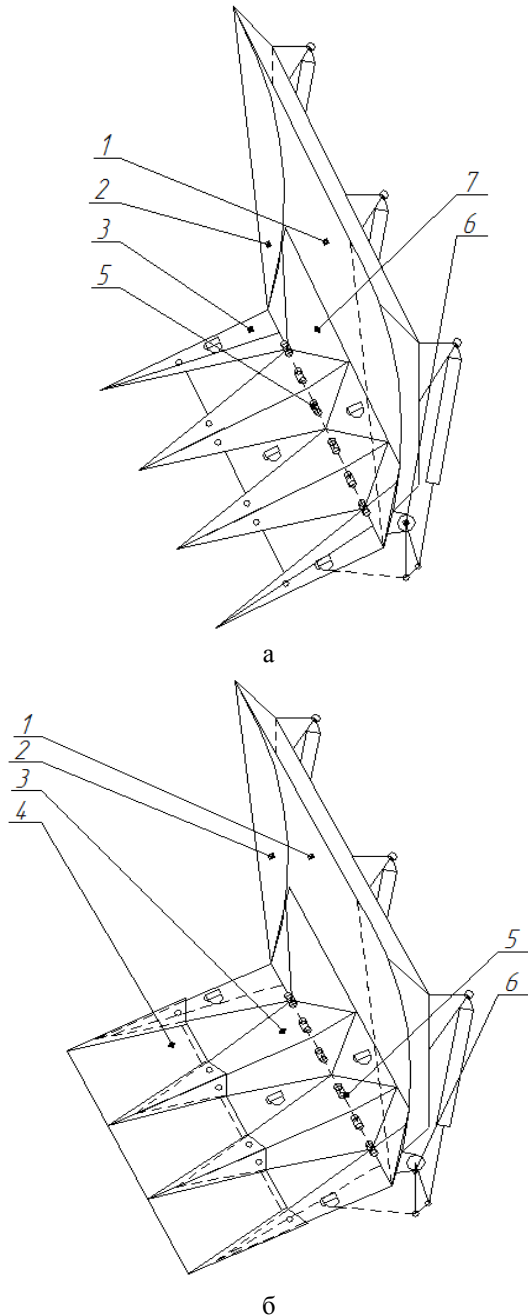


Рис. 12. Багатофункціональний робочий орган: а – основний вигляд; б – з встановленою накладкою; 1 – відвал; 2 – бічні косинки; 3 – КОНС; 4 – накладка; 5 – шарніри; 6 – механізм повороту; 7 – пластина

Основними елементами такого бульдозерного обладнання є традиційний бульдозерний відвал 1, оснащений бічними косинками 2, просторовою ножовою системою 3, накладкою для ножової

системи 4, яка використовується для прямого копання ґрунту та для ущільнення ґрунту. Кріплення КОНС до відвалу виконується за допомогою шарнірів 5, а зміна положення робочого органу виконується за допомогою механізму повороту КОНС 6. За допомогою пластини 7 можливо виконувати пряме копання ґрунту, коли вона опущена, а коли пластина піднята виконується часткове ущільнення ґрунту.

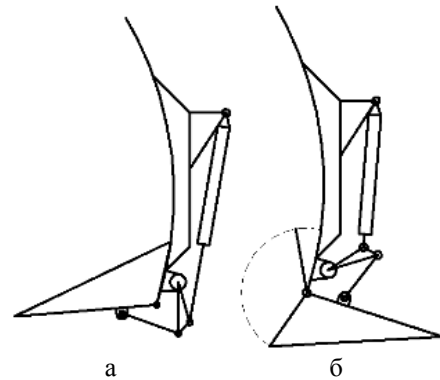


Рис. 13. Положення робочого органу: а – копання ґрунту; б – ущільнення ґрунту

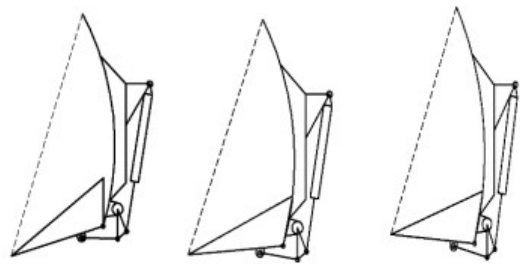


Рис. 14. Положення КОНС під час копання ґрунту: а – точки А-В-С - в горизонтальній площині; б – точки А-В нижче С; в – точки А-В вище С

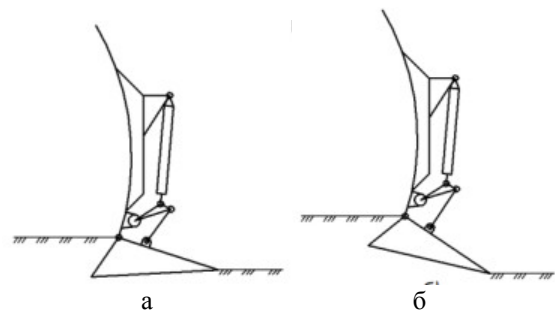


Рис. 15. Положення КОНС під час ущільнення ґрунту: а – часткове ущільнення ґрунту; б – часткове ущільнення ґрунту з переміщенням вперед

Можливе використання бульдозерного відвала з виносною КОНС по аналогії з відомим бульдозерним відвалом за патентом України № 11656 (рис. 16, а) [6].

Також можливе виконання бульдозерного відвала зі звичайним ножом, оснащеного щелепою з КОНС (рис. 17), з усіма властивостями притаманними цьому РО.

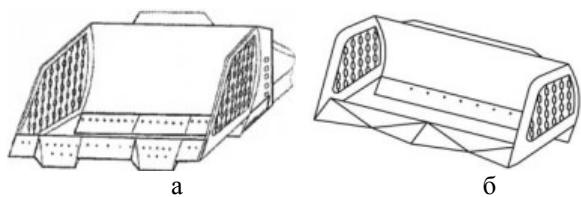


Рис. 16. Відвал бульдозера: а – відомий відвал; б – відвал з КОНС

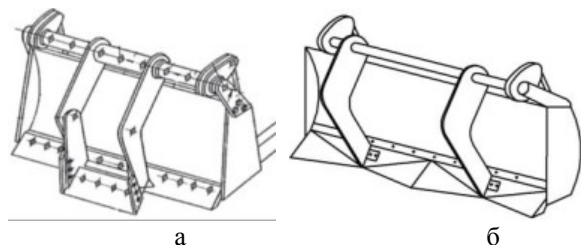


Рис. 17. Відвал бульдозера з щелепою: а – відомий відвал; б – відвал з КОНС

Висновок. Для підвищення ефективності і зниження енергоємності копання ґрунту неповоротним відвалом бульдозера запропонована принципово нова конструкція КОНС, яка ґрунтується на реалізації косо́го різання і копання ґрунту парами зустрічно направлених ножів, розміщених в межах традиційної ножової системи неповоротного відвала бульдозера.

Розглянуті шляхи дослідження і розробки принципово нових ножових систем для неповоротного бульдозерного відвала.

Оцінюючи вищезгадану пропозицію можна сказати, що бульдозери з неповоротним відвалом, в яких планується застосування КОНС, повинні мати значну перевагу порівняно з традиційними бульдозерами з неповоротним відвалом, в яких копання ґрунтів виконується плоскою ножовою системою тому, що очікуються більш високі показники ефективності роботи за рахунок: зменшення питомого опору ґрунту копанню, скорочення шляху копання до створення і набору повноцінної призми ґрунту та зменшення втрат ґрунту у бічних валиках, збільшення продуктивності виконання робіт.

З наукової точки зору створення математичних моделей взаємодії бульдозерних неповоротних відвалів з КОНС з ґрунтом доповнить теоретичну базу щодо розрахунку і оцінки даного процесу, а створення фізичних моделей КОНС на базі неповоротного відвала бульдозера забезпечить наглядність даного процесу та перевірку достовірності теоретичних розрахунків та припущень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машини для земляних робіт: Навчальний посібник /Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке Л.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.
2. Машини для земляних робіт: Підручник /Л.А. Хмара, С.В. Кравець, М.П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д. т. н., проф. Л.А. Хмари, та д. т. н., проф. С.В. Кравця - Х.: ХНАДУ, 2014 - 548 с.
3. Блохін В.С., Маліч М.Г. Основні параметри технологічних машин. Машини для земляних робіт: У 2 ч.: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2006. – Ч. 1. – 497 с.
4. Пат. 112205 Україна, МПК(2006) E02 F 3/76. Відвал бульдозера з комбінованою ножовою системою. Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; заявник і власник патенту Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. - № u200506756 ; заявл. 11.07.2005 ; опубл. 30.01.2006, Бюл. № 2.
5. Пат. 11656 Україна, МПК(2006) E02 F 3/76, Бульдозерний відвал. Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Донбаська національна академія будівництва і архітектури. - № u200503557; заявл. 15.04.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. №1.
6. Пат. 112205 Україна, МПК(2016) E02 F 3/76, Відвал бульдозера з комбінованою ножовою системою. Богомаз ВМ., Главацький К.Ц., Дорогокупля М.О., Краснощок С.Л., Проскурня В.М, Серета О.В.; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. - № a2014 05853; заявл. 30.05.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.
7. Дорогокупля М.О., Главацький К.Ц. Дослідження і розробка бульдозерного обладнання з комбінованою об'ємною ножовою системою (КОНС). / Тези [Текст]: Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Науково-технічний прогрес на транспорті». Секція «Механіка»/ – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. – С. 25.
8. Дорогокупля М.О., Главацький К.Ц. Дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом з об'ємною ножовою системою (ОНС). / Тези [Текст]: Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Науково-технічний прогрес на транспорті». Секція «Механіка» / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – С. 35.
9. Коротких В.Б. Исследование и разработка бульдозера с выступающими ножами и боковыми косынками. Дисс. канд. техн. наук, Днепропетровск, ПГАСА, 1995.

10. Інтенсифікація розробки ґрунту бульдозерним відвалом удосконаленням параметрів ножової системи: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.04 / В.О. Талалай; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. — Д., 2008. — 20 с. — укр.
11. Талалай В.О. Інтенсифікація розробки ґрунту бульдозерним відвалом удосконаленням параметрів ножової системи: автореф. Дис. канд. техн. наук: 05.05.04 / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. — Д., 2008. — 186 с. — укр.

REFERENCES

1. The earth-moving machine: a tutorial /Khmara L. A., Kravets V. S., Ncke L. V., Nazarov, L. V., Sabluk M. P., Nikitin V. G. Under the General editorship of Professor Cloud in L. A. and Professor Kravets V. S. Exactly – Dnepropetrovsk – Kharkov. – 2010. – 557 p.
2. Machines for earth work: Textbook /L. A. Cloud, C. Tailor, M. p. Kobluk, etc.; for zag. ed doctor of technical Sciences, Professor L. And the Clouds, and doctor of engineering, Professor S. V. Kravets - X.: hnadu, 2014 - 548 p.
3. Blokhin S. V., Malich N. G. The main parameters of technological machines. Machines for earth work: 2 h.: Proc. manual. – K.: Higher HQ., 2006. – Part 1. – 497 p.
4. Pat. 112205 Ukraine, MPK(2006) E 02 F 3/76. The dozer blade combined knife system. Cloud L. A., Talalay, V. A., Sokolov I. A.; applicant and patent holder of the Dnieper state Academy of construction and architecture. no u200506756; Appl. 11.07.2005; publ. 30.01.2006, bull. No. 2.
5. Pat. 11656 Ukraine, MPK(2006) E 02 F 3/76 Dozer blade. Cloud L. A., Talalay, V. A., Sokolov I. A.; Prydniprov's'ka state Academy of civil engineering and architecture Donbas national Academy of civil engineering and architecture. no u200503557; Appl. 15.04.2005; publ. 16.01.2006, bull. No. 1.
6. Pat. 112205 Ukraine, IPC(2016) E 02 F 3/76, dozer Blade combined knife system. Bogomaz WM., Glavatskyi K. C., Dorogokuplya M. A., L. S. Krasnoshchek, Proskurnya, V. M., Sereda O.V.; Dnepropetrovsk national University of railway transport. Acad. V. Lazaryan. no a2014 05853; Appl. 30.05.2014; published. 10.08.2016, bull. No. 15.
7. Dorogokuplya M. A., Glavatskyi K. C. Research and development dozer equipment with combined volumetric knife system (KONS). / Abstracts [Text]: all-Ukrainian scientific-technical conference of young scientists, undergraduates and students "Scientific and technological progress on transport". Section "Mechanics"/ – D.: publishing house of Dnepropetr. NAT. Univ well.d. Tr. them. Acad. V. Lazaryan, 2014. – 25p.
8. Dorogokuplya M. A., Glavatskyi K. C. a Study of the process of digging soil dozer blade with an oversized knife system (OOS). / Abstracts [Text]: all-Ukrainian scientific-technical conference of young scientists, undergraduates and students "Scientific and technological progress on transport". Section "Mechanics" / – D.: publishing house of Dnepropetr. NAT. Univ well.d. Tr. them. Acad. V. Lazaryan, 2015. – 35 p.
9. Korotkih V. B. Research and development bulldozer with protruding knives and side gussets. Diss. Cand. tech. of Sciences, Dnipropetrovsk, SCIENTIFIC, 1995.
10. Intensific a working the ground buldozeris dalam udoskonalennya parametru nogova system: abstract. dis... kand. tech. Sciences: 05.05.04 / V. O. Talalay; Pridnepr. Derg. Acad. if BA is art. — D., 2008. — 20 p. — Ukr.
11. Talalay V. O. Intensifica rozrobka the ground buldozeris dalam udoskonalennya parametru nogova system: abstract. Dis. Cand. tech. Sciences: 05.05.04 / Pridnepr. Derg. Acad. if BA is art. — D., 2008. — 186 p. — Ukr.