

УДК 621.878.6

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.88

## ФОРМУВАННЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Голубченко О. І., Хмара Л. А.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

***Анотація.** На підставі системного аналізу створено класифікацію складових елементів та пристроїв робочого обладнання землерийно-транспортних машин. Запропоновано нові технічні рішення різальних систем, транспортувальних пристроїв, обмежувальних елементів, необхідних для функціонування та ефективного виконання робочого процесу землерийно-транспортними машинами циклічної та безперервної дії. Сформовано інноваційні робочі обладнання землерийно-транспортних машин, що забезпечують підвищення продуктивності, зниження енергоємності виконання земляних робіт відповідно до технологічних схем, особливо в дорожньому, гідротехнічному будівництві, прокладанні трубопроводів, будівництві оборонних споруд.*

***Ключові слова:** робоче обладнання, землерийно-транспортна машина, різальні елементи, конвеєри-метальники, ківш скрепера, відвальний робочий орган, копання ґрунту, транспортування ґрунту.*

### Вступ

Земляні роботи в будівництві визначаються різноманітністю за своїми геометричними параметрами, просторовою схемою, функціональним призначенням, об'ємами розроблювального ґрунту. Для ефективного виконання земляних робіт потрібно створювати та впроваджувати робоче обладнання з технологічними та виробничими можливостями. Це забезпечить виконання певного виду земляних робіт з максимальною продуктивністю.

Для виконання земляних робіт широко використовується парк ЗТМ насамперед у вигляді бульдозерів, автогрейдерів, скреперів. Циклічність роботи бульдозерів і скреперів не дає змогу ефективно їх застосовувати на протяжних лінійних об'єктах у дорожньому, транспортному, меліоративному будівництві, під час прокладання та ремонту магістральних трубопроводів, будови оборонних споруд, де переміщення ґрунту відбувається в напрямку, перпендикулярному трасі будівельного об'єкта. У цих випадках доцільно застосовувати ЗТМ, що мають можливість безперервного розроблення ґрунту в напрямку руху машини та його бічного транспортування на потрібну відстань згідно з технологічним процесом земляних робіт. У разі застосування автогрейдерів обмежена відстань бічного транспортування ґрунту косовстановленим відвалом призводить до повторної перевалки ґрунту та, відповідно, до збільшення енерговитрат.

Що стосується ковшових ЗТМ, то на їх ефективність впливає дуже багато факторів, насамперед фізико-механічні властивості ґрунту, тип і особливості ходового обладнання, стан ґрунтової поверхні під час виконання роботи. Для підвищення ефективності ЗТМ, наприклад самохідних скреперів, використовують механічні завантажувальні пристрої різних конструкцій, що дає змогу здійснити заповнення ковша в повному обсязі, відмовитися від трактора-штовхача, підвищити тяговий і загальний ККД машини.

Отже, розширення номенклатури створення нового ефективного робочого обладнання ЗТМ з урахуванням параметрів земляних робіт, забезпечення їх виробництва з максимальною продуктивністю та мінімальною енергоємністю є актуальною проблемою.

### Аналіз публікацій

Підвищення ефективності ЗТМ здійснюється за кількома напрямками. Зокрема йдеться про вдосконалення різальних систем, основними шляхами яких є: дотримання раціональних параметрів різальної системи та умов взаємодії її з ґрунтом (кут різання, ширина різального ножа, глибина й швидкість різання), які забезпечують мінімальний опір різання ґрунту за визначених ґрунтових умов; удосконалення різальних елементів для збільшення питомого зусилля на різальних кромках, створення вільних поверхонь у процесі взаємодії ножа з ґрунтом; застосування ножів напівкруглої та криволінійної форм, косо-

різання ґрунту; використання керованих різальних систем способом застосування змінних різальних елементів, регулювання кутів установки ножів, використання додаткових ножів та зубців, використання багатоярусного різання ґрунтів; попереднє розпушування високоміцних ґрунтів перед застосуванням відвальних і ковшових робочих органів; використання камінового засобу різання ґрунтів, з допомогою якого руйнування ґрунту здійснюється завдяки тяговому зусиллю ЗТМ із максимальним тяговим ККД, а також активним робочим органом, що використовує залишки потужності силового обладнання машини; застосування засобів автоматизації процесу різання для утримання його параметрів у межах, що відповідають мінімальній енергоємності [1–11]. Крім цього, одним із напрямів підвищення ефективності, особливо ковшових ЗТМ, є інтенсифікація процесу заповнення ковша ґрунтом. Для його реалізації як в серійному, так і дослідному виробництві найбільше застосовувалися механічні інтенсифікатори у вигляді скребкових елеваторів, гвинтових і шнекових завантажувачів, металників, підгрібальних пристроїв [12–14].

#### **Мета та постановка завдання**

Сучасний парк серійних ЗТМ має обмежену кількість видів робочого обладнання, здебільшого це відвальні та ковшові робочі органи, що не забезпечують ефективного виконання великого різноманіття видів земляних робіт. Особливість останніх полягає в необхідності переміщення ґрунту від декількох метрів до п'яти кілометрів. У процесі розроблення і транспортування ґрунту на відстань до 10 м, особливо великих обсягів земляних робіт у будівництві протяжних об'єктів, доцільно використовувати ЗТМ безперервної дії. Збільшити продуктивність ковшових робочих органів можна шляхом застосування комбінованих систем копання ґрунту, у процесі якого досягається зниження загального опору копання ґрунту та інтенсифікація процесу заповнення ковша ґрунтом. Унаслідок цього виникає необхідність розширення та створення нового робочого обладнання для ефективного виконання земляних робіт у різних видах будівництва.

Метою роботи є формування нових технічних рішень високоефективного робочого обладнання ЗТМ на основі системного аналізу,

класифікації та синтезу ефективних конструктивних елементів робочого обладнання ЗТМ.

#### **Формування робочого обладнання підвищеної ефективності ЗТМ**

Технологічна схема виконання земляних робіт ЗТМ містить чотири основних робочих процеси: розроблення та виймання ґрунту, транспортування до місця його подальшого використання, укладання ґрунту в земляну споруду, зворотний хід машини в разі циклічності її роботи. Для виконання цих процесів у конструкціях робочого обладнання передбачені певні групи конструктивних елементів, а саме різальні елементи, транспортувальні пристрої та обмежувальні елементи.

Згідно з наведеною структурою на рис. 1 запропоновано класифікацію складових елементів для формування високоефективного робочого обладнання ЗТМ.

Робоче обладнання може мати різальну частину у вигляді суцільного прямолінійного ножа, косовстановленого суцільного прямолінійного ножа, ножа напівкруглої форми, розпушувальних зубів. У процесі різання ґрунту з допомогою тягового зусилля базової машини переважно використовуються суцільні ножі, що потрібно для створення стійкої міцної стружки для подолання опору та підйому ґрунту по відвальній поверхні або у внутрішній порожнині ковша. Недоліком такої схеми взаємодії є підвищений опір різанню ґрунту. Для його зниження використовуються різальні системи з випинальним середнім ножем, ножами ступінчастої форми, з траєкторнозміщеними різальними елементами. Прямолінійні косовстановлені ножі застосовуються переважно на відвальних робочих органах, де потрібне переміщення зрізаного ґрунту вбік. Різання ґрунту криволінійною різальною кромкою приводить до зниження зусилля різання і, відповідно, питомого зусилля різання на 10–20 % порівняно з прямолінійною. Використання комбінації суцільних ножів із розпушувальними зубами доцільно використовувати в процесі розроблення міцних ґрунтів. Недолік цієї системи полягає в зайвому розпушуванні ґрунту, що не дає стійкої стружки. Тому для ефективного копання в цьому випадку потрібно застосовувати додаткове транспортувальне обладнання для переміщення ґрунту із зони різання.

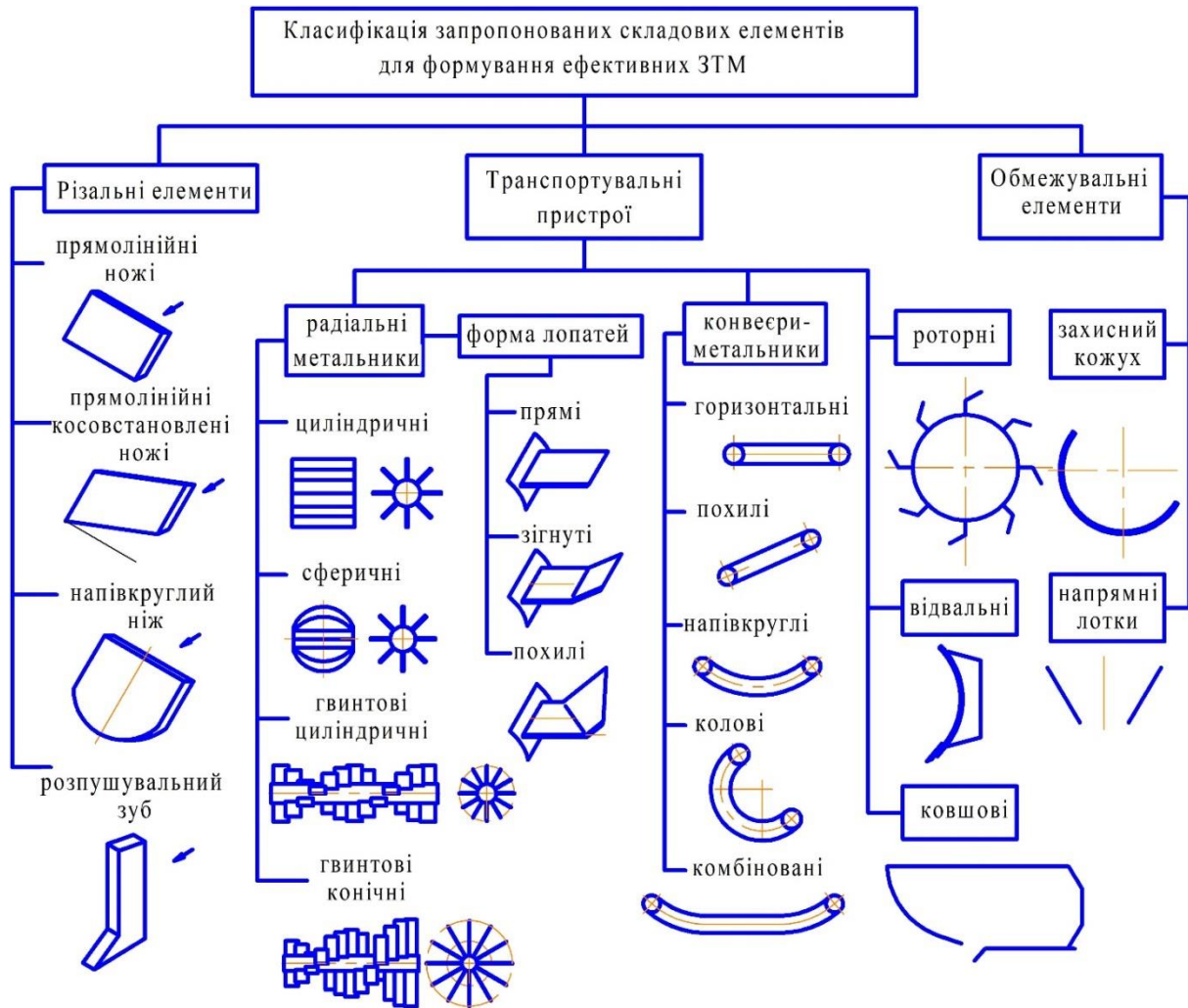


Рис.1. Запропоновані конструкції складових елементів робочого обладнання для формування високоєфективних землерийно-транспортних машин

Необхідно, щоб високопродуктивні ЗТМ мали роздільні робочі органи для розроблення та транспортування ґрунту, що дає змогу зменшити енергоємність робочого процесу. З метою активізації робочого процесу під час транспортування значних мас ґрунту на відносно невеликій (до 50 м) відстані доцільно використовувати механічні металники. У процесі переміщення ґрунту в цьому разі опір створюють сили ваги та аеродинамічні сили, що можуть бути менші, ніж сили тертя ґрунту по ґрунту або по металу. Процес зведення насипу в цьому разі характеризується самоущільненням ґрунту шляхом реалізації запасу кінетичної енергії окремих фрагментів ґрунту. Використання на ЗТМ як транспортувальних органів роторних металників ґрунту, що добре компонується з різними ґрунторозроблювальними органами та дають змогу за умов відносно малої маси та невеликих габаритів усунути невідповідність між продуктивністю ґрунторозроблювальних і транспортувальних

органів, що є одним із способів зниження питомої металоємності та зведених питомих витрат.

Основним недоліком роторно-лопатевих металників із нерухомим кожухом є низький ККД (не перевищує 40–50 %) через значні непродуктивні витрати потужності на тертя ґрунту по нерухомому кожуху. Частково знизити сили тертя допомагає використання зігнутих лопатей, але в цьому разі зменшується відстань метання. Ця особливість не заважає ефективно заповнювати ковшові органи через невелику відстань кидання ґрунту.

Крім цього, до недоліків традиційних радіальних металників належать ударний характер розгону матеріалу, налипання ґрунту в обмеженому міжлопатевому просторі. Знизити динамічні навантаження та збільшити міжлопатевий простір можна завдяки впровадженню гвинтових металників. Під час роботи цих конструкцій захоплення матеріалу

здійснюється невеликим порціями з достатньо високою частотою, що знижує динамічні навантаження. Використання та оснащення гвинтового метальника зігнутими лопатями з різальними ножами на зовнішніх краях дає змогу його трансформувати в різально-кидальний робочий орган, що одночасно ріже ґрунт і транспортує його в режимі метання.

Уникнути перелічених недоліків роторно-лопатевого метальника дає змогу застосування конвеєрів-метальників. Приклад конструкції напівкруглого конвеєра-метальника наведено на рис. 2.

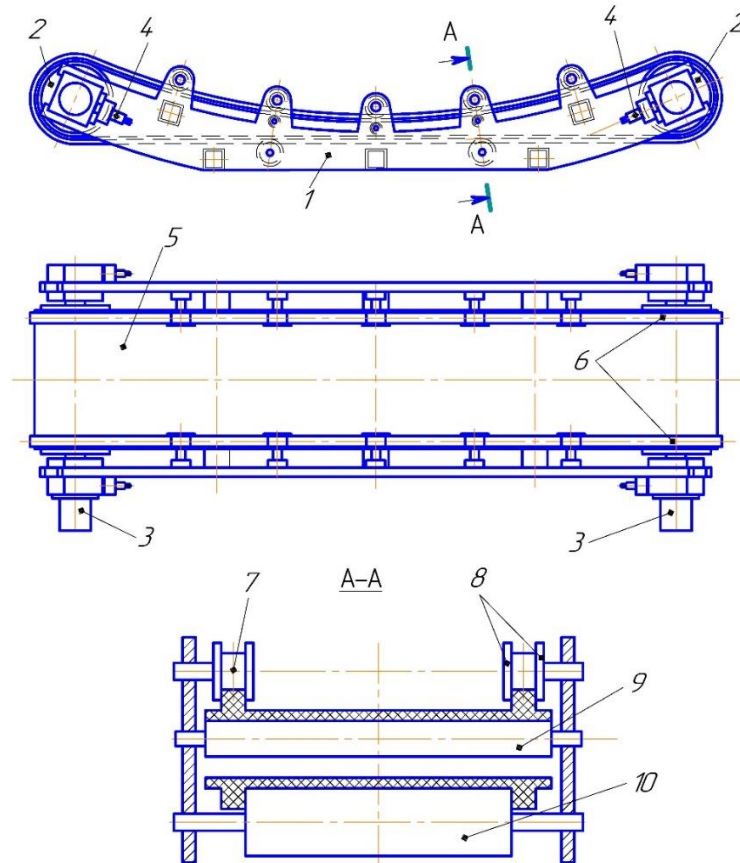


Рис. 2. Конструкція конвеєра-метальника

Конвеєр-метальник містить дугоподібну раму 1, тягові барабани 2 з приводами 3, натяжні пристрої 4, конвеєрну стрічку 5. Уздовж обох країв зовнішньої поверхні стрічки 5 на всій її довжині виконані напрямні 6 прямокутного поперечного перерізу, з якими на верхній робочій гілці стрічки 5 взаємодіють ролики 7 з ребордами 8. Нижня поверхня робочої гілки стрічки 5 спирається на плоскі опорні роликкоопори 9, а холоста гілка – на підтримувальні роликкоопори 10, що розташовані між напрямними 6.

Переваги конвеєра-метальника:

- можливість зміни відстані метання способом зміни швидкості стрічки й кута кидання з допомогою повороту дугоподібної рами;

- відсутність нерухомого кожуха та сил тертя по ньому;

- зниження динамічних навантажень на метальник унаслідок пробуксування по стрічці в процесі завантаження.

Далі розглянемо приклади формування робочого обладнання ЗТМ з використанням запропонованих складових елементів.

На рис. 3–5 зображені приклади робочого обладнання для підвищення ефективності бічного транспортування ґрунту. За основу взята конструкція косовстановленого відвала, що розташована на бульдозерах, автогрейдерів. Особливість функціонування цього відвального робочого органа полягає в тому, що зрізаний ґрунт переміщується вздовж від-

валу вбік. Збільшити відстань бічного транспортування можна завдяки застосуванню металників циліндричної або сферичної форми.

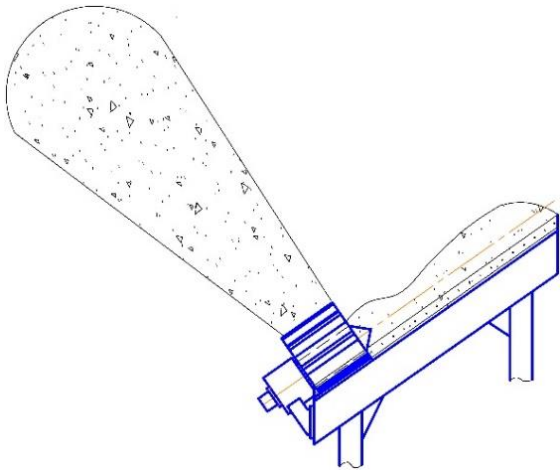
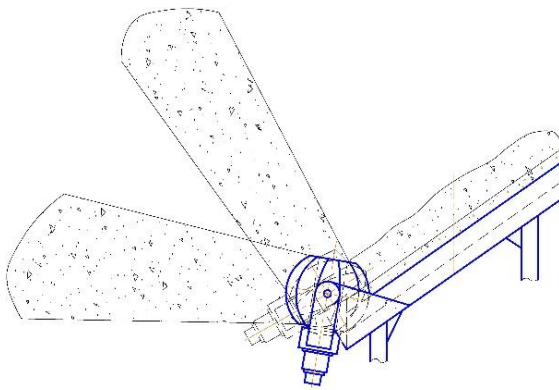


Рис. 3. Косовстановлений відвальний робочий орган із циліндричним лопатевим металником для бічного транспортування ґрунту

У разі циліндричного металника ґрунт транспортується в напрямку, перпендикулярному відвальній поверхні (рис. 3). Використання сферичного металника (рис. 4) за умови рівності зовнішнього радіуса металника й радіуса кривизни відвальної поверхні

дає змогу його повертати навколо вертикальної осі. Такий варіант виготовлення робочого обладнання допомагає змінювати відстань бічного транспортування ґрунту шляхом зміни кута метання в горизонтальній площині. У цьому разі металник працює за умови постійної частоти обертання, що відповідає максимальній продуктивності ЗТМ.

На рис. 5 надано технічне рішення робочого обладнання для копання та транспортування ґрунту, що складається з двосекційного металника з горизонтальною віссю обертання, спрямованою в напрямку повздовжньої осі базової машини та двох косовстановлених відвалів, кожний з яких примикає до окремої секції металника. Під час роботи ґрунт зрізається ножами, транспортується вздовж відвальних поверхонь завдяки тяговому зусиллю та в кінці потрапляє на відповідні секції металника. Далі відбувається схоплення ґрунту лопатами та його транспортування по колу з подальшим метанням на виході лопатей передньої секції металника з масиву ґрунту, а задньої – на виході з контакту із захисним кожухом. Перевага цієї конструкції полягає в її симетричності та урівноваженні бічних реакцій, що діють на косовстановлені відвали.



а



б



в

Рис. 4. Косовстановлений відвальний робочий орган із лопатевим сферичним металником для керованого бічного транспортування ґрунту: а – конструктивна схема; б – фізична модель; в – робочий процес



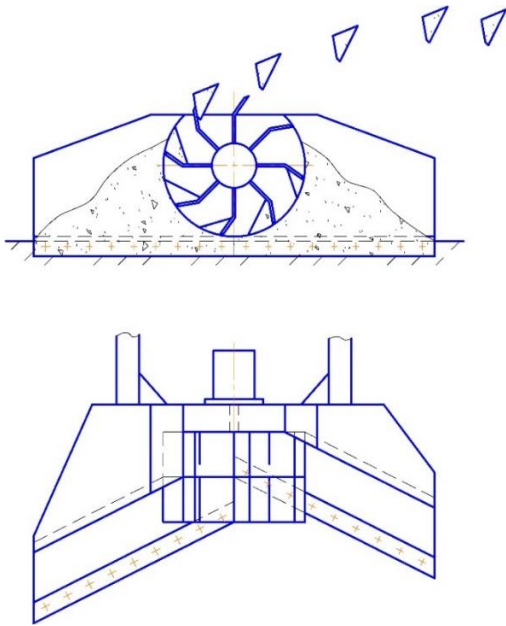
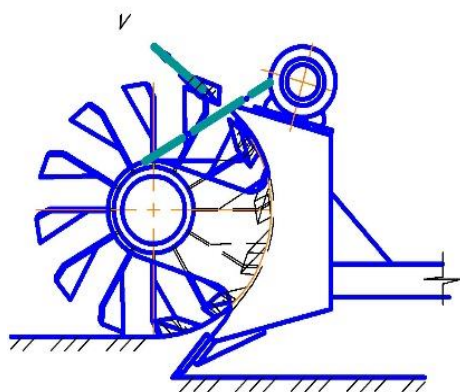


Рис. 5. Робоче обладнання з двосекційним лопатевим метальником і косовстановленими відвалами

Ефективним напрямом формування робочого обладнання ЗТМ є поєднання різальних та метальних елементів. Такий підхід виклю-



чає використання окремих самостійних транспортувальних засобів і цим знижує матеріалоемність робочого обладнання.

Прикладом реалізації зазначеного підходу є різально-метальне робоче обладнання з використанням гвинтового метальника з похилими лопатями та різальними ножами на кінцях лопатей (рис. 6). Робоче обладнання змонтоване вздовж відвальної поверхні з ножем. У процесі поступового переміщення робочого обладнання лопаті гвинтового метальника схоплюють зрізаний ґрунт ножем відвалу або з насипу й транспортують його вздовж відвальної поверхні. Завдяки нахилу лопатей та дії сили тертя між ґрунтом і відвальною поверхнею, яка створюється дією відцентрової сили, порції ґрунту на лопатях, крім колової швидкості  $V_k$ , отримують осьову швидкість  $V_o$ . Отже, вектор абсолютної швидкості  $V$  ґрунту на виході із зони взаємодії з відвалом дорівнює сумі векторів швидкостей  $V_k$  та  $V_o$  і має напрямок у горизонтальній площині під кутом  $\alpha_1$  до напрямку переміщення робочого обладнання. Подальше бічне транспортування ґрунту здійснюється завдяки його метанню та вільному переміщенню в просторі.

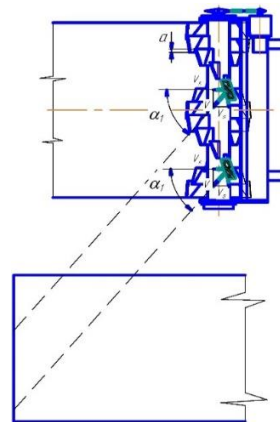


Рис. 6. Різально-метальне робоче обладнання ЗТМ для бічного транспортування ґрунту гвинтовим метальником з похилими лопатями

На рис. 7 надані варіанти виконання робочого обладнання з використанням гвинтових метальників різної форми. Застосування поворотного в плані відвалу дає змогу збільшити кут бічного транспортування  $\alpha_2 > \alpha_1$  та, відповідно, відстань (рис. 7, а). Конічна форма гвинтового метальника в поєднанні з прямим відвалом забезпечує переміщення ґрунту приблизно на одну лінію з усієї ширини робочого

обладнання (рис. 7, б). Такий характер транспортування ґрунту ефективний для зворотної засипки траншей. Аналогічно косовстановлений відвал із гвинтовим конічним метальником збільшує кут бічного транспортування  $\alpha_4 > \alpha_3$  (рис. 7, в). Використання комбінацій двосекційних відвальних робочих органів із гвинтовими метальниками різних форм забезпечують двобічне транспортування (рис. 7, г, д).

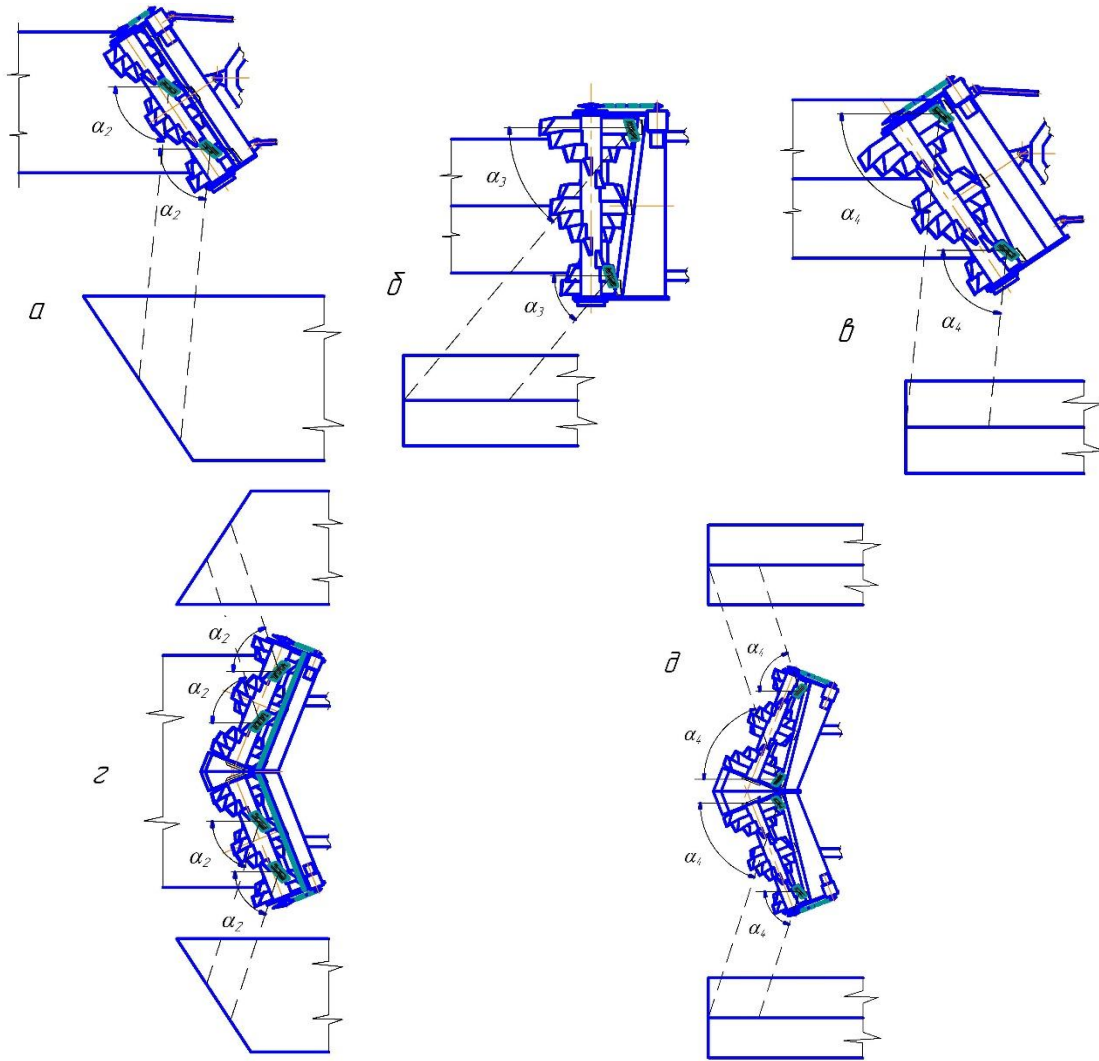


Рис. 7. Виконання різально-метального робочого обладнання ЗТМ для бічного транспортування ґрунту: а – поворотний відвал із циліндричним гвинтовим метальником; б – прямий відвал з конічним гвинтовим метальником; в – поворотний відвал з конічним гвинтовим метальником; г – двосекційний відвал із двома циліндричними гвинтовими метальниками; д – двосекційний відвал із двома конічними гвинтовими метальниками

Для пошарового копання ґрунту з подальшим його бічним транспортуванням запропоновано робоче обладнання з комбінацією напівкруглої совкової різальної системи з конвеєром-метальником (рис. 8).

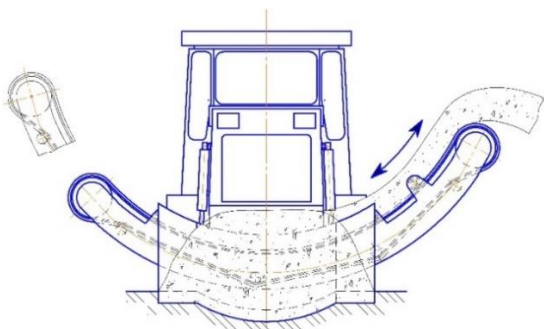


Рис. 8. ЗТМ для пошарового копання та бічного транспортування ґрунту

Їх ефективне сполучення досягається завдяки дугоподібним формам обох елементів. Поворотом конвеєра-метальника здійснюється зміна кута метання та відстані бічного транспортування.

Широкий спектр земляних робіт може виконувати ЗТМ безперервної дії з роторним робочим органом (рис. 9), а саме пошарове розроблення ґрунту, корисних копалин із подальшим їх переміщенням у відвал, спорудження земляних насипів, улаштування корит у будівництві автомобільних і залізничних доріг, будівництво меліоративних каналів та оборонних споруд, зворотне засипання траншей під час будівництва й ремонту магістральних трубопроводів. Робоче обладнання ЗТМ складається із штовхальної рами, яка ша-

рнірно приєднана до базової машини, гідроциліндрів керування. На передній частині штовхальної рами за допомогою шарнірів і розкосів змонтовано роторний робочий орган з різальною системою у вигляді радіальних лопатей з різальними ножами, закріпленими вздовж ротора по гвинтових лініях із певним

кроком. У внутрішній порожнині роторного робочого органа встановлено конвеєр-метальник напівкруглої або комбінованої форми, а також лоток для спрямування ґрунту, що розвантажується з радіальних лопатей на конвеєр-метальник.

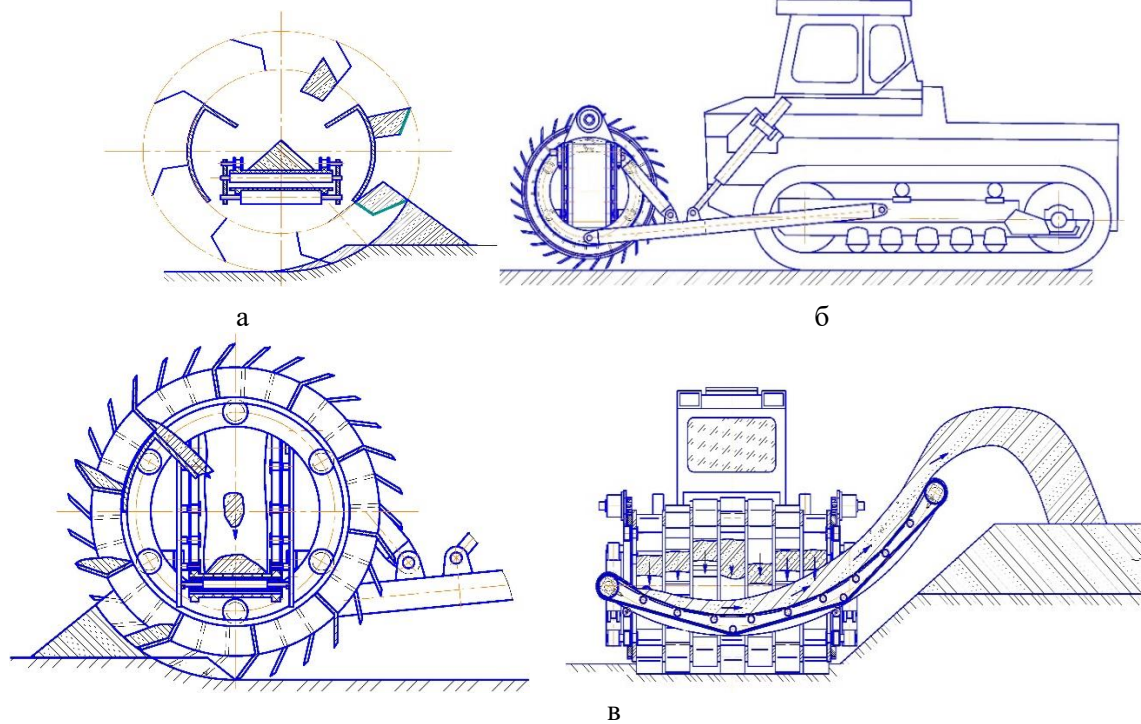


Рис. 9. ЗТМ безперервної дії роторного типу: а – принципова схема; б – загальний вигляд машини; в – робочий процес

Найбільш поширеною ЗТМ ковшового типу є самохідний або причіпний скрепер. Копання ґрунту скрепером здійснюється з допомогою тягового зусилля базового тягача, яке залежить від багатьох факторів, насамперед від типу й стану ходового обладнання, навантаження на провідні рушії, потужності силового обладнання, фізико-механічних властивостей ґрунту, стану ґрунтової поверхні для пересування. Досвід експлуатації скреперів показав, що ефективно копання та заповнення ковша ґрунтом з допомогою тягового зусилля неможливе й потребує застосування трактора-штовхача або використання додаткових завантажувальних пристроїв для транспортування ґрунту від різальної системи у внутрішню порожнину ковша.

На серійних моделях скреперів поширені пристрої у вигляді скребоквих елеваторів, гвинтових завантажувачів, що переміщують зрізаний ґрунт у повному об'ємі. Така схема потребує підвищених витрат енергії на роботу завантажувачів.

Тенденції вдосконалення сучасних базових машини ЗТМ полягають у підвищенні

одиначної потужності з одночасним зниженням матеріалоємності, і тому для їх ефективної роботи потрібна повна реалізація тягового зусилля з максимальним тяговим ККД, а надлишки потужності силового обладнання використовують для транспортувальних пристроїв та інтенсифікаторів робочого процесу. Реалізувати цю особливість можна застосуванням різально-метального робочого органа щодо ковша скрепера (рис. 10).

Особливість робочого процесу полягає в тому, що різання ґрунту здійснюється традиційним різальним ножом з допомогою тягового зусилля, а також різальними ножами на лопатях гвинтового метальника. Одночасно відбувається метання зрізаного ґрунту лопатями в ківш. Різально-метальний пристрій встановлено на поворотній несній рамі, яка дозволяє регулювання співвідношення глибини різання основним ножом та різально-метальним робочим органом. Таке технічне рішення дає змогу найбільш ефективно реалізувати тягове зусилля базової машини.



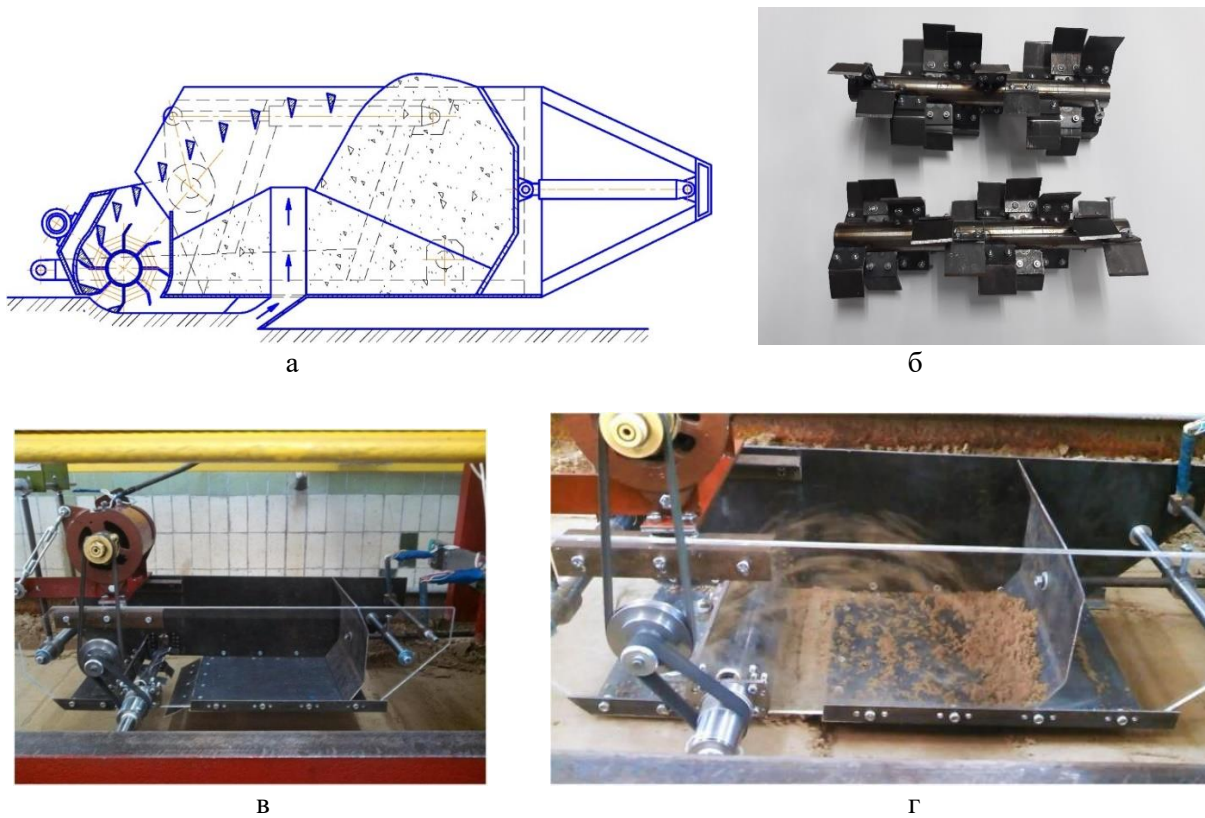


Рис. 10. Робоче обладнання скрепера з різально-метальним робочим органом: а – конструктивна схема скрепера з різально-метальним робочим органом; б – фізичні моделі різально-метальних робочих органів; в – фізична модель ковша скрепера; г – робочий процес копання ґрунту

Збільшити об'єм ґрунту в ковші й продуктивність скрепера можливо способом його заповнення із «шапкою». Реалізується такий варіант заповнення впровадженням гвинтового металника з похилими лопатями на його бічних сторонах (рис. 11). Це виконання створює концентрацію напрямів метання ґрунту в центральну частину ковша.

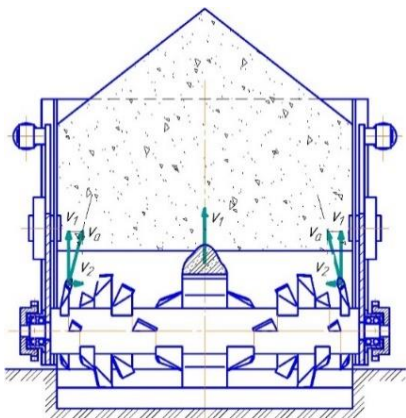


Рис. 11. Скрепер із спрямованим метанням ґрунту в центральну частину ковша різально-метальним робочим органом

### Висновки

1. Запропоновані та класифіковані нові конструкції складових елементів для формування нових ефективних ЗТМ.
2. На основі запропонованих нових конструктивних елементів синтезовані технічні рішення ефективних ЗТМ, особливістю яких є безперервне виконання процесу копання ґрунту з можливістю одночасного його транспортування в заданому напрямку.

### Література

1. Машины для земляных работ: навч. посіб. / Л. А. Хмара та ін.; за ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. 557 с.
2. Машины для земляных работ: підручник / Л. А. Хмара та ін.; за заг. ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. Харків: ХНАДУ, 2014. 548 с.
3. Хмара Л. А., Колісник М. П., Станевський В. П. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин. Київ: Будівельник, 1992. 152 с.
4. Блохін В. С., Маліч М. Г. Основні параметри технологічних машин. Машины для земляных работ: навч. посіб.: у 2 ч. Київ: Вища школа, 2006. Ч. 1. 497 с.
5. Машины для земляных работ. Атлас конструкций: навч. посіб. / Л. А. Хмара та ін.; за заг.

- ред. Л. А. Хмари. Дніпро – Харків: ПДАБА – ХНАДУ, 2021. 240с.
6. Талалай В. О. Інтенсифікація розробки ґрунту бульдозерним відвалом удосконаленням параметрів ножової системи: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. Дніпропетровськ, 2008.
  7. Ракша С. В., Главацький К. Ц., Горбенко Ю. О. Дослідження процесу копання ґрунту фізичною моделлю бульдозерного обладнання з неповоротним відвалом та зміною комбінованою об'ємною ножовою системою. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*: збірник наукових праць. Харків. Вип. 88. Т. 2. С. 86–92.
  8. Хмара Л. А., Кроль Р. М. Наукові основи оптимізації геометричних параметрів інноваційного телескопічного робочого органа бульдозера (на основі загальних теорій взаємодії відвальних робочих органів із середовищем). *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 4. С. 79–92.
  9. Главацький К. Ц., Горбенко Ю. О., Анофрієв П. Г. Дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним неповоротним відвалом з об'ємною ножовою системою. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції*. 16-19 травня 2019 р. Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С. 228–230.
  10. Голубченко О. І., Хожило М. Е. Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 6–7. С. 48–55.
  11. Spilnik M., Uzhelovskyi A., Dakhno O. Composite material in metal construction of earthmoving machines. *International Trends Technology*. Warsaw, Poland, 2019. Vol. 1. S. 13–18.
  12. Голубченко О. І., Хмара Л. А. Формування інноваційних технічних рішень робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: «Підійомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання»*. 2018. Вип. 103. С. 30–38.
  13. Голубченко О. І., Хмара Л. А. Конструкція та теоретичне дослідження інноваційного інтенсифікатора бічного транспортування ґрунту для відвального робочого органа землерійно-транспортної машини. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: «Підійомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання»*. 2018. Вип. 103. С. 39–49.
  14. Хмара Л. А. Науковий супровід будівельних і дорожніх машин: дослідження, розрахунки, створення, вибір, використання. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: «Підійомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання»*. 2018. Вип. 103. С. 10–29.

## References

1. Khmara, L. A. ta in. (2010) *Mashyny dlya zemlyanykh robot: nav chal'nyy posibnyk [Machines for earth work: Study guide]* / za red. L. A. Khmary ta S. V. Kravtsya. Rivne – Dnipropetrovs'k – Kharkiv, 557 s. [in Ukraine].
2. Khmara, L. A., Kravets, S. V., Skoblyuk, M. P. ta in. (2014) *Mashyny dlya zemlyanykh robot: pidruchnyk [Machines for earth work: Textbook]* / za zah. red. L. A. Khmary ta S. V. Kravtsya. Kharkiv, 548 s. [in Ukraine].
3. Khmara, L. A., Kolisnik, M. P., Stanevskiy, V. P. (1992) *Modernizatsiya ta pidvischennya produktivnosti budivelnih mashin [Modernisation and increase of the productivity of building machines]* Kyiv, 152 p.
4. Blokhin, V. S., Malich, M. H. (2006) *Osnovni parametry tekhnolohichnykh mashyn / Mashyny dlya zemlyanykh robot: U 2 ch.: Navch. Posib. [The main parameters of technological machines. Machines for earth work]*. Kyiv, ch. 1, 497 s. [in Ukraine].
5. Khmara, L. A., Kyrychenko, I. G., Shatov, S. V., Holubchenko, O. I. ta in. (2021) *Mashyny dlya zemlyanykh robot. Atlas konstruktsiy: navchal'nyy posibnyk / za zag. red. L. A. Khmara*. Dnipro – Kharkiv, 240 s. [in Ukraine].
6. Talalay, V. O. (2008) *Intensyfikatsiya rozrobky hruntu bul'dozernym vidvalom udoskonalenniam parametriv nozhovoyi systemy [Intensification of soil development with a bulldozer blade by improving the parameters of the knife system]* Diss. kand. tekhn. nauk, Dnepropetrovsk, PGASA [in Ukraine].
7. Raksha, S. V., Hlavatskyi, K. Ts., Gorbenko, Yu. O. *Issledovaniye protsesu kopaniya fizicheskoy model'yu bul'dozernogo oborudovaniyas nepovorotnym otvalom i smennoy kombinovanoy ob'yemnoy nozhevoy sistemoy [Study of the digging process with a physical model of bulldozer equipment with a fixed blade and a replaceable combined volumetric knife system]*. *Visnik khar'kivs'kogo natsional'nogo universiteta, zbirnik naukovykh prats`*. Kharkiv, vyp. 88, t. 2, s. 86–92 [in Ukraine].
8. Khmara, L. A., Krol, R. N. (2019) *Naukovi osnovy optymizatsiyi parametriv innovatsiyno teleskopsxyjuy robochoho orhanu bul'dozera. Visnik Pridnsprovs'koj derzhavnoj akademij budivnictva ta arhitekturi*, no. 4, s. 79–92 [in Ukraine].
9. Hlavatskyu, K. Ts., Horbenko, Yu. O., Anofriyev, P. H. (2019) *Doslidzhennya protsesu kopannya hruntu bul'dozernym nepovorotnym vidvalom z ob'yemnoyu nozhovoyu systemoyu [Investigation of the process of digging soil by bulldozer irreversible blade with bulk knife system]*. *Problemy ta perspektyvy rozvytyu zaliznych-*

- noho transportu. Tezy 79 Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (16–17.05.2019) Dnipro, s. 228–230 [in Ukraine].
10. Golubchenko, O. I., Hozhilo, M. E. (2011) Oglyad ta propozicij konstrukcij aktivnogo robochogo obladnannya zemlerijno-transportnih mashin bezpererвноj dij [Review and proposals for designs of active working equipment of continuous earth-moving machines]. *Visnik Pridneps'koj derzhavnoj akademij budivnictva ta arhitekturi*, no. 6–7, s. 48–55 [in Ukraine].
  11. Spilnik, M., Uzhelovskyi, A., Dakhno, O. (2019) Composite material in metal construction of earthmoving machines. *International Trends Technology*, Warsaw, Poland, August 31, vol.1, s. 13–18.
  12. Khmara, L. A., Golubchenko, O. I. (2018) Formuvannya innovatsiynykh tekhnichnykh rishen robochogo obladnannya zemlerijno-transportnykh mashyn bezperevnoyi diyi [Formation of innovative technical solutions for the working equipment of earthmoving and transport machines of continuous action]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie*, vyp. 103, s. 30–38 [in Ukraine].
  13. Khmara, L. A., Golubchenko, O. I. (2018) Konstruktsiya ta teoretychne doslidzhennya innovatsiynoho intensyfikatora bichnoho trasportuvannya hruntu dlya vidval'noho robochogo orhana zemlerijno-transportnoyi mashyny [Design and theoretical research of an innovative intensifier of lateral soil transport for the dump working body of an earthmoving machine]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie*, vyp. 103, s. 39–49 [in Ukraine].
  14. Khmara, L. A. (2018) Naukovyy suprovid budivel'nykh i dorozhnykh mashyn: doslidzhennya, rozrakhunky, stvorennya, vybir, vykorystannya [Scientific support of construction and road machines: research, calculations, creation, selection, use]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie*, vyp. 103, s. 10–29 [in Ukraine].

**Голубченко Олександр Іванович**, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, [alexgol@ua.fm](mailto:alexgol@ua.fm), тел. +38 (050) 514-61-02, Придніпровська академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Петрова, 24-а, м. Дніпро, Україна.

**Хмара Леонід Андрійович**, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин,

[leonidkhmara@yahoo.com](mailto:leonidkhmara@yahoo.com), тел. +38(093) 267-03-86, Придніпровська академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Петрова, 24-а, м. Дніпро, Україна.

### Formation of working equipment of increased efficiency for earthmoving and transport machines

**Abstract. Problem.** The problem is low productivity when performing earthworks by earthmoving machines on long construction sites in road, transport, land reclamation construction, during repair and laying of main pipelines, construction of defense structures, which are related to the development of soil and its lateral transportation due to the predominant use of machines of cyclic action. Increasing the efficiency of soil digging by bucket earthmoving and transport machines by reducing soil digging resistance and increasing the volume of soil in the bucket. **Goal.** Formation of new technical solutions of highly efficient working equipment of earthmoving and transport machines. **Methodology.** System analysis, classification and synthesis of new effective structural elements for the creation of working equipment of earthmoving and transport machines of increased efficiency. Physical modeling to clarify the physical essence of the work process and the performance of the proposed structures. **Results.** New technical solutions of cutting, transporting, limiting components for the creation of highly efficient earthmoving and transport machines are proposed. **Originality.** Combining the process of digging the soil with its simultaneous transportation in the direction with the specified parameters. **Practical value.** The designs of working equipment of earthmoving and transport machines were proposed with the use of cutting and throwing devices for effective continuous lateral transportation of soil and filling of bucket working bodies.

**Key words:** working equipment, earthmoving and transport machine, cutting elements, conveyors-throwers, scraper bucket, dump working body, soil digging, soil transportation.

**Golubchenko Alexander**, ph.D., Associate Professor of the Department of Construction and Road Machinery, [alexgol@ua.fm](mailto:alexgol@ua.fm), tel. +38 (050) 514-61-02, Pridneprovsk state academy of engineering and architecture, 24-a, Architekтора Petrova str., Dnipro, Ukraine.

**Khmara Leonid**, doctor of Technical Sciences, professor, of the Department of Construction and Road Machinery, [leonidkhmara@yahoo.com](mailto:leonidkhmara@yahoo.com), tel.+38 (067) 585-26-59, Pridneprovsk state academy of engineering and architecture, 24-a, Architekтора Petrova str., Dnipro, Ukraine.