

УДК 621.879.4

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.71946>

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНШЕЙНОГО ЕКСКАВАТОРА З БЕЗКІВШОВИМ РОТОРНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Кандидати техн. наук В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНШЕЙНОГО ЭКСКАВАТОРА С БЕСКОВШОВЫМ РОТОРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Кандидаты техн. наук В.Д. Мусийко, А.Б. Коваль

## IMPROVEMENT OF THE TRENCH EXCAVATOR WITH BUCKETLESS ROTARY IMPLEMENT

Cand. of techn. sciences V.D. Musiiko, A.B. Koval

*У статті розглянуто проблеми застосування бесківшових роторних робочих органів на траншейних екскаваторах безперервної дії. Розглянуті технічні пропозиції по збільшенню виносної здатності бесківшових роторів за рахунок нанесення шорсткості на робочі поверхні ротора. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень ефективності запропонованих технічних рішень. Їх реалізація дозволила підвищити продуктивність машини на 25...30 %.*

**Ключові слова:** ґрунт, копання, траншея, траншейний екскаватор, бесківшовий ротор, шорсткість, енергомісткість.

*В статье рассмотрены проблемы применения бесковшовых роторных рабочих органов на траншейных экскаваторах непрерывного действия. Рассмотрены технические предложения по увеличению выносной способности бесковшовых роторов за счет нанесения шероховатости на рабочие поверхности ротора. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности предложенных технических решений. Их реализация позволила повысить производительность машины на 25...30 %.*

**Ключевые слова:** грунт, копанье, траншея, траншейный экскаватор, бесковшовый ротор, шероховатость, энергоемкость.

*The paper studies problems of bucketless rotary implements usage with continuously operating trench excavators. The advantage of the bucketless rotors is an increased productivity that is achieved by transportation of the excavated soil from work face in solid stream and not in batches. However, by-passing of the soil occurs in the rotor. In order to decrease the magnitude of such by-passing and increase the carry-over ability of the rotor it is proposed to create undulations on the working surface of the rotor. This leads to the substitution of the friction between soil and the metal surface of the rotor by the friction between it and the soil located on these surfaces which improves the carry-over ability of the rotor. This improvement ensures a decrease of the energy consumption of the soil excavation to 0,225...0,200 kW·h/m<sup>3</sup>. Theoretical and experimental research of the suggested technical solution efficiency have allowed to determine design and linkage parameters of the bucketless implement and put it into practice in the construction design of the excavator TMK-3 and ETP-140. Productivity increase of the machine in comparison with the initial implement's design is 25...30 %.*

**Key words:** soil; excavation; trench, trench excavator, bucketless rotor, undulations; energy consumption

**Вступ.** Сучасний цивілізований світ не можливо уявити без розвинутої системи комунікацій, в тому числі підземних трубних та кабельних, спорудження яких пов'язано з

копанням траншей різного профілю та протяжності в ґрунті. Виконання таких робіт можливо лише з використанням високопродуктивних землерийних машин,

насамперед траншейних екскаваторів безперервної дії. Зважаючи на існуючі в Україні проблеми будівництва та ремонту підземних трубопроводів різного призначення та діаметра, оптоволоконних ліній зв'язку, а останнім часом і траншей для фортифікаційного обладнання позицій військ, питання створення високоефективних конструкцій траншейних екскаваторів є своєчасним та актуальним.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими завданнями.** Одним з перспективних напрямів створення високоефективних траншейних екскаваторів є встановлення на них роторних робочих органів безківшового типу. Перевагою цих машин є їх підвищена продуктивність, що досягається за рахунок транспортування ротором розробленого ґрунту з забою суцільним потоком, а не окремими порціями.

Роторні робочі органи безківшового типу, транспортуючи ґрунт з забою у відвал за рахунок його тертя по робочим поверхням ротора, працюють в інших умовах, по іншому принципу взаємодіють з ґрунтом ніж ківшові різних типів, відвальні, або скребкові. Це не дає можливості в повній мірі використовувати при проектуванні землерийних машин, оснащених такими робочими органами, результатів досліджень інших типів робочих органів та відомих методик їх розрахунку.

До сих пір є не зрозумілим механізм формування зон ущільнення ґрунту та сил тертя у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора, чим забезпечується переміщення (винос) розробленого ґрунту з забою до розвантажувальних вузлів. Не чітким є уявлення про фізичну суть процесу виносу ґрунту з забою. Це створює серйозні труднощі об'єктивного характеру при розв'язанні питання розробки технічних рішень по підвищенню виносної здатності безківшових роторів. До сьогоднішнього дня відсутні конкретні, однозначні рекомендації по вибору раціонального способу примусового розвантаження безківшових роторних робочих органів, а також конструкції розвантажувального вузла. Відсутня об'єктивно виважена оцінка ступеню впливу способу розвантаження та конструкції розвантажувального вузла робочого органа на ефективність роботи та продуктивність машини в цілому.

Викладені вище не вирішені питання конструювання та розрахунків безківшових роторів, суттєво утруднюють проектування та виготовлення землерийних машин з такими робочими органами, створюють деяку недовіру до них.

Дана робота відповідає напряму та завданням Державної науково-технічної програми «Нафта і газ України до 2015 року» (постанова Кабінету Міністрів України № 125 від 17.02.1995 року).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виконані експериментальні дослідження транспортуючої здатності безківшових роторних робочих органів [1, 2, 3, 4] показали, що ґрунт виноситься ними з траншеї за рахунок ущільнення та тертя по поверхням внутрішніх кільцевих порожнин ротора. При цьому має місце деяке постійне проковзування ґрунту в роторі та перемішування, що свідчить про зменшення продуктивності його по виносній здатності. Цим пояснюється пропозиція І.Л. Ципурського [2] про введення при розрахунках безківшових роторів поняття коефіцієнта виносної здатності ротора  $k_e$  як відношення об'єму ґрунту, що фактично виноситься з забою за один оберт  $Q_{т.в.}$  до теоретично розрахованого об'єму  $Q_{т.т.}$ . Як слідє з експериментів, чисельне значення цього коефіцієнта знаходиться в межах 0,55...0,66, що підтверджує наявність значного проковзування ґрунту в роторі, а значить і занижену його виносну здатність.

В роботах [5, 6] дано теоретичне обґрунтування вибору швидкості подачі робочого органа при заданій швидкості різання ґрунту, що забезпечує роботу ротора без заштибування. Суть вибору полягає в порівнянні продуктивностей ротора по забою, що визначається через параметри траншеї та швидкість подачі ротора та по виносу ґрунту, що визначається як продуктивність скребкового конвеєра. Такий підхід до рішення питання вибору швидкостей різання ґрунту та подачі робочого органа на забій важко вважати достовірним та переконливим тому, що винос ґрунту з забою не можна вподібнювати роботі скребкового конвеєра, так як переважна частина розробленого ґрунту виноситься з забою за рахунок тільки сил тертя по поверхням ротора.

Відомі результати досліджень раціональних режимів роботи безківшових

роторних робочих органів з метою визначення шляхів оптимізації потоків потужності, що затрачується на привід ротора та на переміщення машини в цілому [7, 8]. Ці дослідження фрагментарні і потребують подальшого уточнення та більш широкого узагальнення.

Окремо слід відмітити відсутність конкретних однозначних рекомендацій по вибору раціонального способу розвантаження безківшових роторних робочих органів, а також конструкції розвантажувального вузла, оцінки впливу способу розвантаження ротора та конструкції його розвантажувального вузла на ефективність роботи та продуктивність машини в цілому.

З приведенного аналізу видно, що до цього часу роторні безківшові робочі органи не досліджені всебічно, особливо в питаннях виносу ґрунту із забою.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності роботи та продуктивності траншейних екскаваторів за рахунок підвищення виносної здатності безківшових роторних робочих органів та вибору раціональних режимів їх роботи.

**Основна частина.** Безківшові роторні робочі органи траншейних екскаваторів транспортують розроблений ґрунт з забою

суцільним потоком, а не окремими порціями та мають примусове розвантаження ґрунту на обидва боки від спорудженої траншеї. Вони здатні розробляти ґрунт в широкому діапазоні швидкостей різання, іншими словами, для них практично не існує обмежень продуктивності по виносній здатності, чого не можна сказати про жоден з відомих типів конструкції робочих органів траншейних екскаваторів. Використання безківшових роторів забезпечує можливість практично повної реалізації потужності двигуна як завгодно потужного базового тягача на копання ґрунту.

Безківшові ротори розробляють ґрунт різцями, що встановлені на поперечних до центрального диска ротора траверсах-різцетримачах. Транспортування ґрунту з забою, в основному, здійснюється у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора, обмежених боковими поверхнями центрального диска, поверхнями траверс, обернених до центра обертання ротора та зовнішніми поверхнями двох кільцевих барабанів, встановлених по обидві сторони центрального диска ротора, рис. 1. Зона ротора, обмежена конструкціями траверс та різців розміщених по периферії центрального диска, називається зовнішньою кільцевою порожниною ротора.

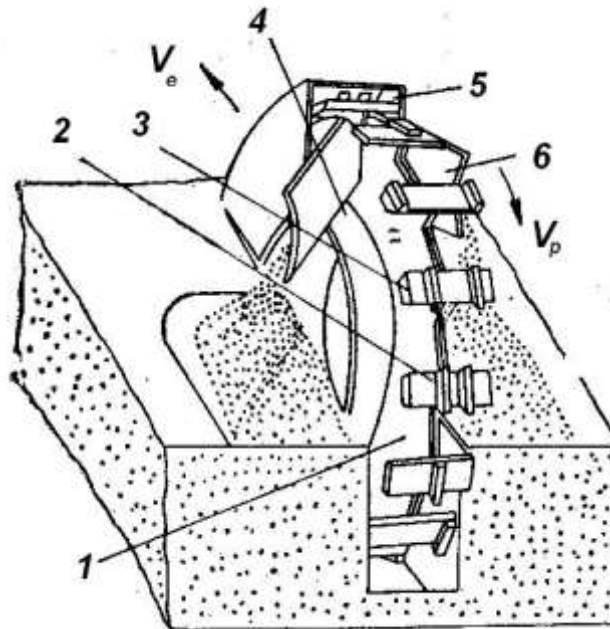


Рис. 1. Модель безківшового ротора траншейного екскаватора:  
1 – центральний диск, 2 – траверса, 3 – ріжучий елемент, 4 – кільцевий барабан,  
5 – кожух, 6 – розвантажувальні скребки

Експериментальні дослідження робочих процесів безківшових роторних робочих органів показали, що в сталих режимах роботи розрізнені зони ущільненого ґрунту у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора відсутні. Має місце суцільна зона ущільнення, котра в сталому режимі роботи, обмежена радіусом ротора, відхиленого від вертикалі, що проходить через центр його обертання на кут  $15^\circ \dots 20^\circ$  в сторону зачисного башмака з однієї сторони та денною поверхнею забою з іншої. Ґрунт з забою транспортується ротором без видимих пульсацій внаслідок тертя його по поверхням робочого органа. Характер виносу ґрунту, зі зміною кінематичних характеристик робочого процесу ротора, не міняється – змінюється тільки щільність його у внутрішній кільцевій порожнині ротора. Зрізаний різцями ґрунт поступає в ротор практично не перемішуючись з ґрунтом, що поступив туди раніше, а ущільнюючись з деяким проковзуванням, відносно поверхонь робочого органа, виноситься з траншеї. Загальна енергомісткість роботи відомих конструкцій безківшових робочих органів (екскаватори ЕТР – 134, 137, БТМ – 4) в експлуатаційних умовах змінюється в межах  $0,320 \dots 0,225$  кВт·год/м<sup>3</sup>. Встановлено, що нанесення шорсткості на робочі поверхні ротора [9, 10], рис. 2, (фактична заміна тертя ґрунту по металевим поверхням ротора на тертя його по ґрунту що зосереджується на цих поверхнях), забезпечить розробку ґрунту з енергомісткістю розробки  $0,225 \dots 0,200$  кВт·год/м<sup>3</sup> в широкому діапазоні зміни продуктивності траншейного екскаватора.

Енергомісткість копання ґрунту безківшовим роторним робочим органом в значній мірі залежить від співвідношення швидкостей різання ґрунту та подачі робочого органа на забій (кінематичного показника його роботи). Так при зміні кінематичного показника в межах від 8 до 17 загальна енергомісткість роботи ротора збільшується на 35...40% в тому числі: різання ґрунту на 30...34%, виносу його з забою на 25...32%.

При роботі безківшового ротора, коли величина кінематичного коефіцієнта коливається в межах 6...10, – енергомісткість роботи розробки ґрунту – мінімальна.

Проведеними дослідженнями встановлено значний вплив величини кута установки площин траверс по відношенню до радіуса

ротора на його виносну здатність. Так збільшення кута установки від  $15^\circ$  до  $20^\circ \dots 25^\circ$  забезпечує суттєвий ефект при розробці сипучих ґрунтів на швидкостях різання, що забезпечують гравітаційне розвантаження ґрунту з зовнішньої кільцевої порожнини ротора.

Теоретичні та експериментальні дослідження ефективності запропонованих технічних рішень дозволили визначати конструктивні та кінематичні параметри робочого органа безківшового типу та реалізувати його в конструкціях екскаваторів ТМК – 3 та ЕТР – 140. Це дозволило підвищити продуктивність машин, порівняно з вихідним варіантом конструкції їх робочих органів, в середньому на 25...30% при рівних інших умовах.

Однак слід відмітити, що при одноступеневому примусовому розвантаженні безківшового ротора ґрунтознімачами, введеними в його внутрішні кільцеві порожнини та встановленими в задній частині робочого органа, має місце перенос розробленого ґрунту знову в траншею, тому що з зовнішньої кільцевої порожнини ротора (зони установки різців) він практично не розвантажувється.

Встановлено, що найбільша ефективність роботи машин досягається, коли коефіцієнт перфорації зовнішньої кільцевої порожнини ротора знаходиться в межах  $0,22 \dots 0,25$ , сектор розвантаження ґрунту з зовнішньої кільцевої порожнини ротора у внутрішню не менше  $70^\circ$ , кут нахилу передньої грані кожної траверсирізцетримача до радіуса ротора в межах  $50 \dots 55^\circ$ , кут нахилу площини траверс до радіуса ротора  $20 \dots 25^\circ$ .

**Висновки.** Виконанні дослідження дозволили обґрунтувати та розробити технічні пропозиції:

- по збільшенню виносної здатності безківшових роторних робочих органів за рахунок нанесення шорсткості на робочі поверхні ротора та зміни форми внутрішніх кільцевих порожнин ротора;

- по забезпеченню вибору раціональних параметрів установки траверс ротора та швидкостей різання ґрунту і подачі робочого органа на забій, а також їх співвідношення.

Підвищення виносної здатності робочого органа, дозволило знизити енергомісткість розробки ґрунту траншейними екскаваторами

до 0,225...0,200 кВт·год/м<sup>3</sup>, суттєво підвищити продуктивність роботи траншейних екскаваторів.

Подальші дослідження перспективно проводити в напрямку оптимізації процесу розвантаження безківшових роторних робочих органів.

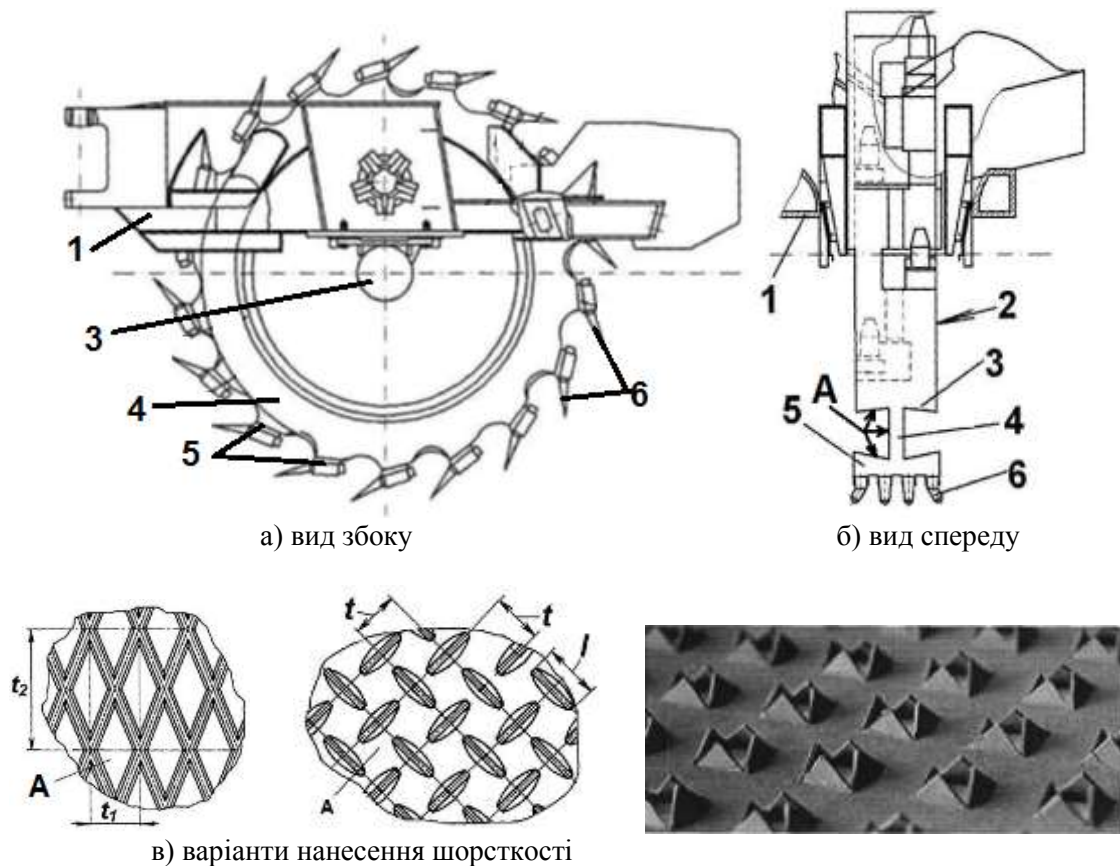


Рис. 2. Конструкція безківшового роторного робочого органа та варіанти нанесення шорсткості на робочі поверхні ротора:

- 1 – рама робочого органа; 2 – безківшовий ротор; 3 – маточина ротора;  
4 – центральний диск; 5 – траверса; 6 – ріжучий елемент

### Список використаних джерел

1. Маевский, А.Г. О некоторых особенностях выноса грунта из забоя бесковшовым ротором траншеекопателя [Текст] / А.Г. Маевский, В.Д. Мусийко, Ф.С. Альхадж, В.Ф. Маслов // Горные, строительные и дорожные машины. – К.: Техника, 1985. – № 38. – С. 31-34.
2. Ципурский, И.Л. Анализ выносной способности рабочего органа фрезерно-роторного траншеекопателя [Текст] / И.Л. Ципурский // Исследования экскаваторов. – М.: Машиностроение, 1968. – № 59. – С. 37-46.
3. Кирилов, Ф.Ф. Предельные режимы работы диско-фрезерных машин по заштыбованию [Текст] / Ф.Ф. Кирилов, Б.И. Южанов // Материалы научно-технической конференции ТТУ. – Томск: ТИСИ, 1972. – С. 176-177.
4. Румянцев, В.А. Исследование способов разработки мерзлых грунтов дискофрезерными рабочими органами [Текст] / В.А. Румянцев // Строительные и дорожные машины. – М., 1980. – № 4. – С. 24-26.
5. Румянцев, В.А. Траншейные экскаваторы [Текст] / В.А. Румянцев. – М.: Машиностроение, 1980. – 102 с.

6. Трянин, В.П. Исследования бесковшового роторного рабочего органа с принудительной разгрузкой [Текст] / В.П. Трянин, В.А. Румянцев, И.З. Фиглин // Строительные и дорожные машины. М., 1978. – № 10. – С.7-8.

7. Кокуров, Д.В. Результаты исследований фрезерно-роторного рабочего органа траншейного экскаватора на физической модели [Текст] / Д.В. Кокуров // Теоретические и практические проблемы выживания земной цивилизации. – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – С.70-76.

8. Кокуров, Д.В. Определение рациональных режимов работы траншейных экскаваторов с фрезерно-роторным рабочим органом [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / Кокуров Дмитрий Владимирович; СибАДИ. – Омск, 2004. – 17 с.

9. Робочий орган роторного экскаватора [Текст]: патент на винахід 99049 Україна, МПК(2006.01) E02F 3/18, 3/22, 5/08 / Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М.; власник Національний транспортний університет. – № а 2011 03428; заявл. 26.09.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

10. Робочий орган роторного траншейного экскаватора [Текст]: патент на винахід 100321 Україна, МПК(2006.01) E02F 3/18, 3/22, 5/08 / Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М., Поліщук О.В.; власник Національний транспортний університет; – № а 2011 07863; заявл. 26.06.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Кузьмінець

---

Мусійко Володимир Данилович, професор, канд. техн. наук, професор кафедри дорожніх машин Національного транспортного університету. Тел. (044) 2809773, e-mail: musvd@i.ua.

Коваль Андрій Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедри дорожніх машин Національного транспортного університету. Тел. (044)2809773, e-mail: kandr@i.ua.

Musiiko Volodimir D., Associate Professor, Ph.D. in Technical Science, Professor department of Road machines National Transport University, tel. +380442809773, e-mail: musvd@i.ua.

Koval Andriy B., Ph.D. in Technical Science, Associate Professor department of Road machines National Transport University, tel. +380442809773, e-mail: kandr @i.ua.