

УДК 621.879.4
UDC 621.879.4

DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-160-169

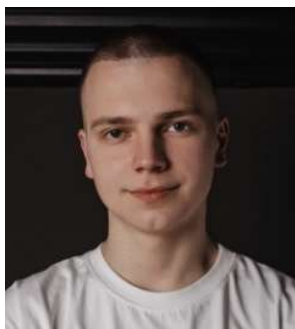
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕМАТИЧНИХ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БЕЗКІВШЕВИХ РОТОРНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ НА
ЕНЕРГОЄМНІСТЬ РОЗРОБКИ ҐРУНТІВ**

**RESEARCH OF THE IMPACT OF KINEMATIC AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS
OF BUCKETLESS ROTARY WORKING BODIES OF TRENCH EXCAVATORS ON THE
ENERGY INTENSITY OF SOIL EXCAVATION**



Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: kandr6104@gmail.com, тел.: +3805002408947,

<https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, [SCOPUS id 57220055768](https://scopus.com/authid/detail.url?authorid=57220055768)



Пацьора Данило Іванович, аспірант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: dpatsora@gmail.com, тел.: +380996460618,

<https://orcid.org/0000-0001-9515-3672>

Анотація: У статті розглянуто питання визначення фізичної суті робочого процесу безківшевих роторних робочих органів екскаваторів поздовжнього копання та раціонального вибору їх кінематичних і геометричних параметрів. Дослідження виконано з використанням стенду фізико-математичного моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії на фізичній моделі безківшевого роторного робочого органу виготовлений в масштабі 1:5. Досліджено та розкрито фізичну суть копання траншей безківшевим роторним робочим органом. Процес розробки ґрунту полягає у відділенні різцями ротора стружки ґрунту від масиву, переміщенні розробленого ґрунту у його внутрішні кільцеві порожнини, заклинюванні зазначеної маси ґрунту у цих порожнинах та підйому ґрунту, до розвантажувального вузла за рахунок сил тертя ґрунту по робочим поверхням ротора. Транспортування розробленого ґрунту ротором та розвантаження здійснюється безперервним потоком, а не окремими порціями як це має місце в робочих органах традиційної конструкції.

Примусове розвантаження ґрунту із ротора з використанням двоступеневих розвантажувальних вузлів дозволяє забезпечити ефективну розробку ґрунту в широкому діапазоні зміни швидкостей різання та в повній мірі реалізувати на приводі робочого органа будь яку потужність силової установки машини. Вказана перевага безківшевих роторних робочих органів траншейних екскаваторів перед іншими конструкціями робочого обладнання є унікальною. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень фізичної моделі (М 1:5) безківшевого роторного робочого органа екскаватора дав можливість визначити величину енергоємності розробки ґрунтів, діапазон

можливих змін продуктивності траншейних екскаваторів з безківшевим роторним робочим органом за зміни режимів роботи машин. Доказано, що енергоємність розробки ґрунтів безківшевими роторними робочими органами становить 0,25...0,30 кВт·год/м³. Встановлено раціональні величини конструктивних параметрів ротора, а саме: ширину траверс ротора та кута їх установки на центральному диску ротора, як основних конструктивних параметрів ротора.

Ключові слова: екскаватор траншейний, кінематичний показник, ротор, траншея, енергоємність.

Вступ. На сучасному етапі розвитку промислового і транспортного будівництва обсяги земляних робіт у загальному обсязі будівельних робіт, залежно від об'єктів що споруджуються, коливається від 3..5 % до 80...90 %. Зважаючи на значні об'єми виконуваних робіт зрозуміло, що вони можуть бути ефективно і якісно виконані тільки з використанням високоефективної землерийної техніки.

За такої умови вартість будівництва лінійної частини магістрального газопроводу, наприклад, включаючи земляні роботи, складає в середньому 50 % його загальної вартості, а з урахуванням витрат на матеріали – до 85 % (за даними на 2012 рік). Вартість будівництва 1 кілометра розподільчого газопроводу діаметром 108 мм становить близько 400 тисяч гривень, в тому числі вартість виконання повного циклу земляних робіт складає 40...50 % повної вартості будівельно-монтажних робіт [1].

Останнім часом надзвичайно актуальним стало питання спорудження максимально швидкими темпами окопів повного профілю (траншей) та ходів сполучення між ними для фортифікаційного облаштування бойових позицій військ та укрить для бойової техніки.

Оскільки трубопроводи і окопи повного профілю будуються шляхом спорудження траншей, то зрозуміло стає роль траншейних машин у виконанні земляних робіт. Ефективність роботи машин є одним із головних факторів вирішення поставлених завдань.

Аналізуючи ефективність роботи сучасних роторних і ланцюгових траншейних екскаваторів кращих світових фірм-виробників відзначимо, що резерви підвищення їх продуктивності копання траншей заданих розмірів практично вичерпано. Причиною цього є об'єктивне протиріччя, суть якого полягає в наступному.

Підвищити продуктивність траншейного екскаватора, під час копання ним траншеї визначених розмірів, можна виключно за рахунок збільшення швидкості переміщення (подачі) машини в режимі копання ґрунту. Але, в той же час, відповідно, необхідно збільшити продуктивність робочого обладнання екскаватора по підйому розробленого ґрунту зі спорудженої виїмки та переміщення його до місця складування. Цього можна досягти шляхом збільшення швидкостей різання ґрунту ґрунторозробними ланцюгами робочого обладнання, або збільшенням швидкостей обертання роторних ківшевих робочих органів траншейних машин. Однак, відцентрові сили, що діють на ґрунт, який транспортується робочими органами екскаваторів на розвантаження з досягненням відповідної величини урівноважуються силами гравітації. В наслідок цього розвантаження робочих органів екскаваторів, особливо під час копання перевантажених в'язких ґрунтів, стає неможливим.

Такі режими роботи траншейних машин визначають порогову, максимальну величину продуктивності їх роботи. В результаті, навіть за умови монтажу традиційного роторного ківшевого, чи ланцюгового робочого обладнання на самих сучасних базових шасі (тягачах) достатньо великої потужності – підвищити продуктивність траншейних екскаваторів зверх порогових значень продуктивності робочого обладнання, не можливо.

Саме тому розробці нових та підвищенню ефективності використання традиційних технологій спорудження протяжних виїмок в ґрунті та технічних засобів для їх реалізації приділяється значна увага в багатьох країнах світу. Це можна відслідкувати за патентною активністю різних країн у вирішенні цих проблем, на прикладі Німеччини [2], США [3, 4], Японії [5,], України [6].

Переміщення центру уваги у вирішенні питання створення високопродуктивних конструкцій траншейних екскаваторів на машини з безківшевими роторними робочими органами [7], пояснюється явними потенційними перевагами, останніх порівняно з роторними ківшевыми, або ланцюговими (ківшевыми, та ланцюгово-балковими), робочими органами.

Суть переваг полягає у здатності безківшевих роторних робочих органів розробляти та транспортувати ґрунт з траншеї безперервним потоком, а не окремими порціями, відсутності конструктивних і кінематичних обмежень на швидкості різання ґрунту. Продуктивність виконання робіт такими робочими органами визначається виключно ґрунтовими умовами та потужністю базового шасі машини. Подібних характеристик не має жодне технічне рішення відомих конструкцій траншейних екскаваторів.

Опубліковані на сьогоднішній день роботи, що спрямовані на створення траншейних машин з безківшевими роторними робочими органами, малочисельні і не системні. Питання, що в них вирішувались, не є питаннями першочергової важливості в процесі створення високоефективних землерийних машин безперервної дії [8-12].

Враховуючи фізичну суть робочого процесу копання ґрунту роторним робочим органом, що включає в себе розробку ґрунту, транспортування його з забою до місця розвантаження та власне сам процес розвантаження можна стверджувати про недостатність об'єктивних даних та технічних пропозицій для створення високоефективного роторного робочого обладнання траншейних екскаваторів.

На наш погляд, тільки системний підхід з використанням об'єктивних даних про особливості фізичного процесу розробки ґрунтів безківшевими роторними робочими органами, кінематику робочого процесу, особливостей конструктивних рішень робочих органів та вузлів їх розвантаження дозволить вирішити питання створення високоефективних траншейних машин принципово нової конструкції.

Об'єктом дослідження є безківшеві роторні робочі органи екскаваторів поздовжнього копання та процес розробки ґрунтів зазначеними конструкціями робочих органів.

Виклад основного матеріалу. Вихідною конструкцією експериментальних досліджень є конструкція безківшевого роторного робочого органа, приведена на рис. 1. Робочий орган забезпечує копання траншеї шириною до 0,6 м, глибиною 1,1...1,5 м в ґрунтах I – IV категорій складності розробки. Експериментальні дослідження виконувались на ґрунтовому каналі кафедри інженерії машин транспортного будівництва НТУ з використанням стенда фізико-математичного моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії [8] з використанням моделі ротора, виготовленій в масштабі 1:5.

В процесі виконання досліджень вирішувались питання оцінки розробки ґрунтів безківшевим роторним робочим органом за зміни режимів копання ґрунту та визначення раціональної конструкції траверс робочого органа і параметрів їх установки на диску ротора як основних конструктивних параметрів.

Результати виконаних експериментальних досліджень дозволяють стверджувати, що під час копання ґрунту безківшевим роторним робочим органом (в перерахунку на «натуру») на різних режимах роботи, що забезпечують продуктивність роботи в межах 144...810 м³/год загальна енергоємність розробки ґрунту змінюється в межах 0,320...0,225 кВт·год/м³. За такої умови має місце тенденція до зменшення енергоємності зі збільшенням продуктивності ротора, за умови що має місце паралельне збільшення товщини стружки, що зрізується, рис. 2.

Зменшення загальної енергоємності копання ґрунту зі збільшенням товщини стружки пояснюється зменшенням енерговитрат на різання ґрунту за рахунок зменшення його подрібнення в процесі руйнування та ступеня проковзування транспортованого у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора ґрунту.

Оцінюючи зміну крутного моменту на валу приводу ротора зі зміною товщини стружки ґрунту, що зрізується в процесі копання, відмітимо його збільшення за умови зростання товщини стружки. Це пояснюється збільшенням ступеню заповнення ґрунтом внутрішніх кільцевих порожнин ротора, бокового тиску транспортованого ґрунту на стінки відкопаної траншеї і, як наслідок, збільшення сил тертя транспортованого ґрунту по стінках траншеї, рис. 3.

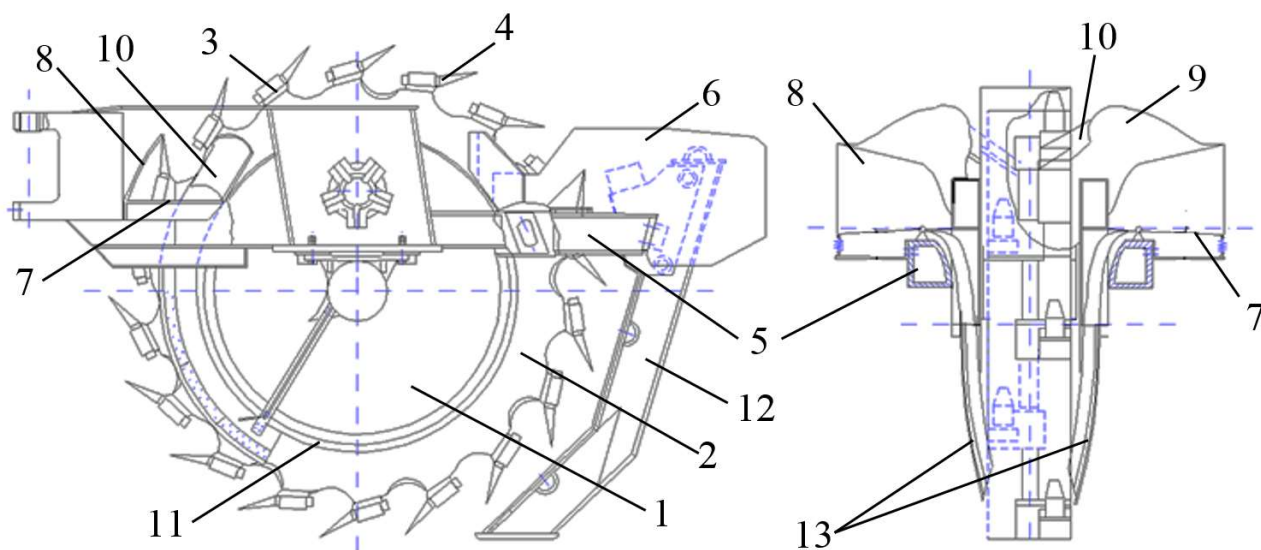


Рисунок 1 – Безківшевий робочий орган траншейного екскаватора: а – вид збоку; б – вид спереду; 1 – ротор; 2 – диск центральний; 3 – траверса; 4 – різець; 5 – рама; 6 – бермоутворювач; 7 – основа лотка; 8 – передня стінка лотка; 9 – стінка задня лотка; 10 – ґрунтознімач; 11 – кільцевий барабан; 12 – зачисний башмак; 13 – ніж-леміш

Figure 1 – Bucketless working body of the rotary excavator: a – side view; b - front view; 1- rotor, 2 – central disk; 3 – of the rotary excavator: a – side view; b - front view; 1- rotor, 2 – central disk; 3 – cross-arm; 4 - cutter; 5 – frame; 6 – berm maker; 7 – tray base; 8 – front wall; 9 – back wall; 10 – soil remover; 11 – annular shell; 12 – clean-up bearing plate; 13 – plow knife

Зі збільшенням товщини стружки, що зрізується ротором, збільшується і величина необхідної сили тяги на переміщення робочого органа в траншеї в процесі розробки ґрунту, що цілком зрозуміло. Це збільшення відбувається за лінійним законом, рис. 4. За зміни товщини стружки від 0,03 м до 0,065 м під час роботи натурної машини, сила тяги на переміщення робочого органа збільшується від 75,0 кН до 100,0 кН.

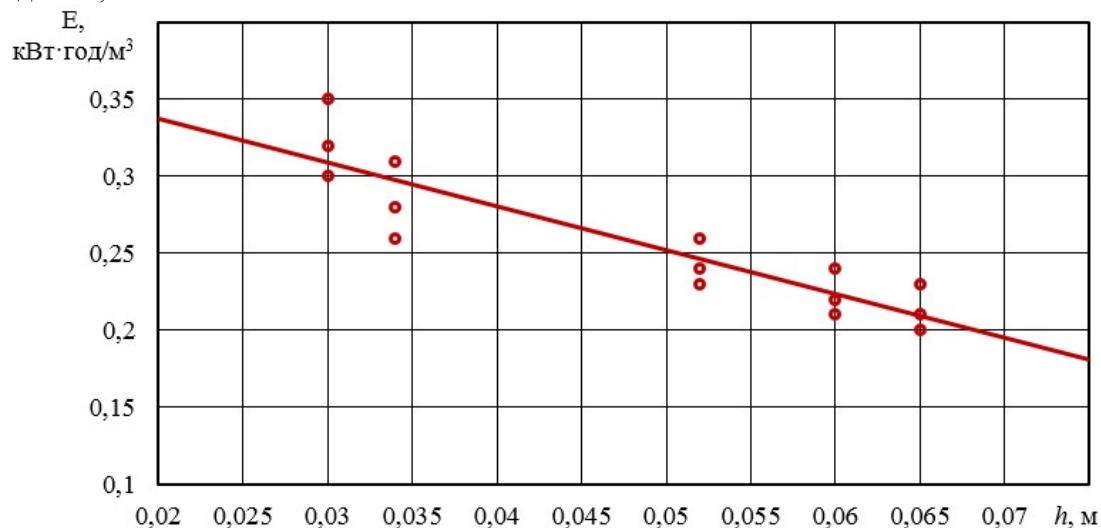


Рисунок 2 – Залежність енергоємності розробки ґрунту від товщині стружки
Figure 2 – Dependence of soil excavation energy intensity on the chip thickness

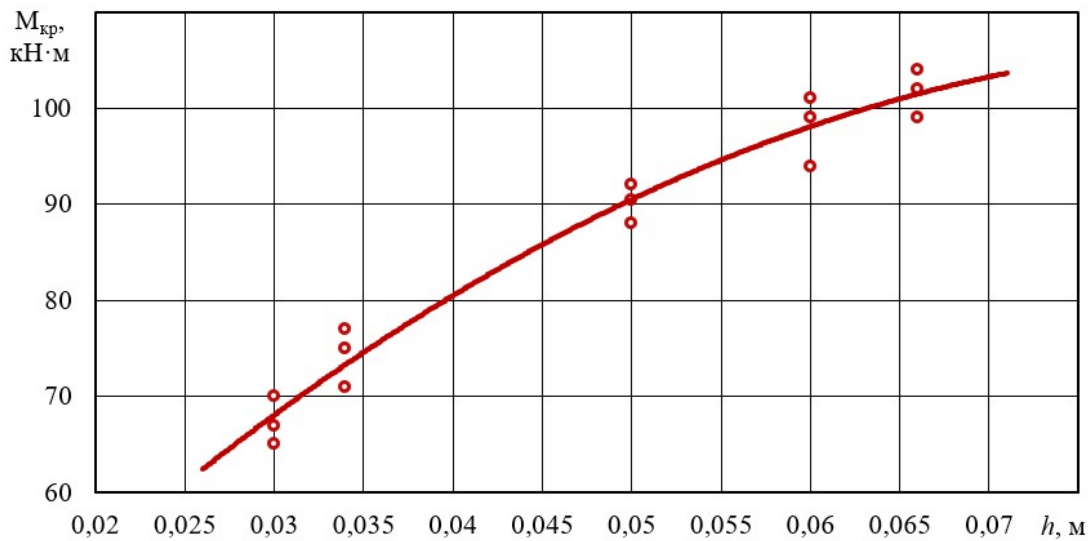


Рисунок 3 – Залежність крутного моменту на валу ротора від товщини стружки
Figure 3 – Correlation between torque on the rotor shaft and chip thickness

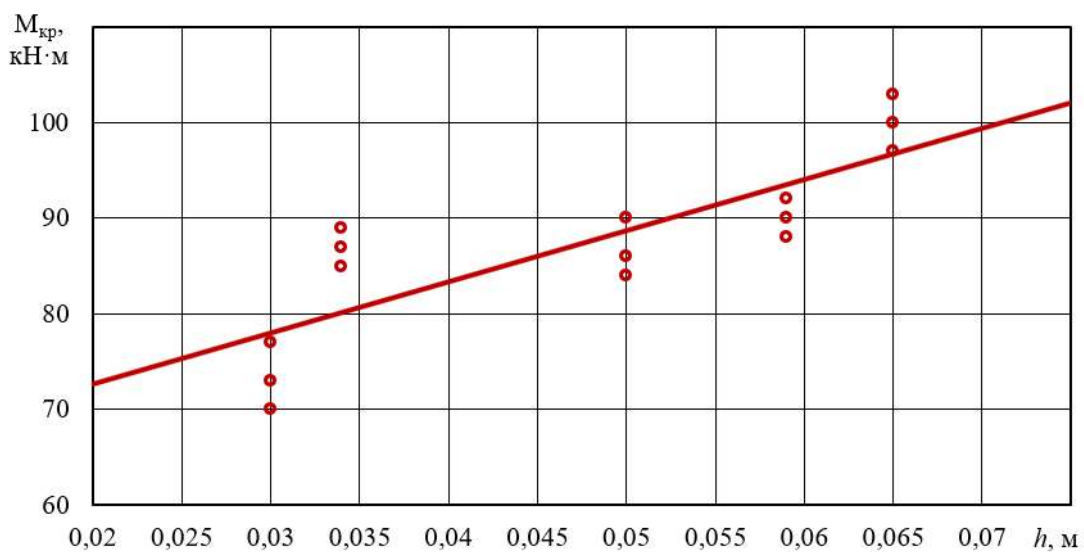


Рисунок 4 – Залежність тягового зусилля ротора від товщини стружки
Figure 4 – Correlation between traction force on the shaft and chip thickness

В ході виконання дослідження визначено вплив зміни кінематичного показника режиму роботи безквішевого ротора на величину енергоємності розробки ґрунту.

Під кінематичним показником роботи безквішевого ротора мається на увазі відношення швидкості різання ґрунту V_p до швидкості подачі V_e ротора на ґрунт забою.

Аналіз отриманих залежностей свідчить про те, що зі збільшенням кінематичного показника роботи ротора значення енергоємності розробки ґрунту зростають (рис. 5) за лінійним законом.

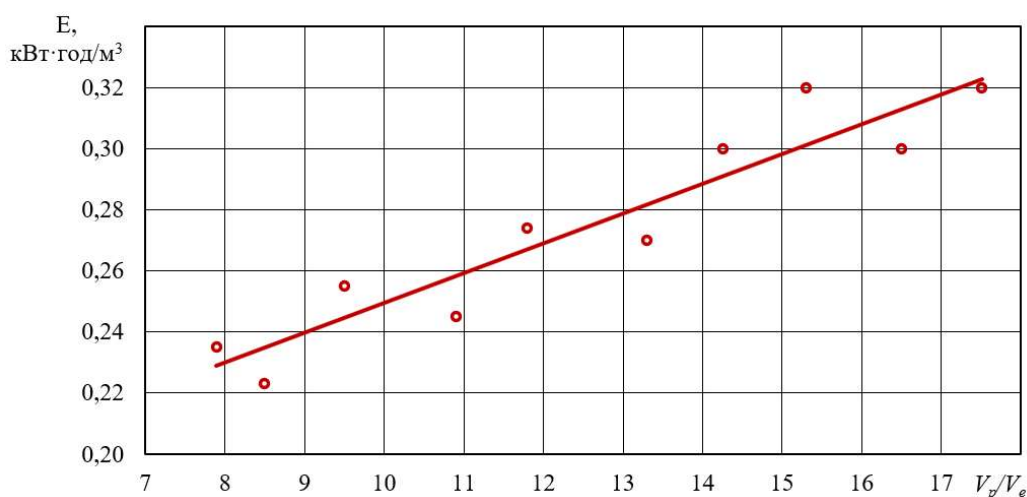


Рисунок 5 – Залежність енергоємності роботи ротора від зміни кінематичного показника
Figure 5 – Dependence of the rotor operation energy intensity on kinematic index

Отриманий ефект пояснюється тим, що зі збільшенням кінематичного показника роботи безківшевого ротора зменшується товщина зрізуваної стружки, збільшується ступінь подрібнення ґрунту під час відділення його від масиву. Як наслідок, збільшується проковзування ґрунту у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора, що суттєво підвищує енергоємність розробки ґрунту. З графіка (див. рис. 5) слідує, що з досягненням величини кінематичного показника орієнтовно 6-7 вірогідне виникнення явища заштибування робочого органа – коли ротор не зможе підняти з забою об'єм ґрунту відділений від масиву за вказаної швидкості подачі екскаватора. За результатами виконаних досліджень можна стверджувати, що для забезпечення ефективної розробки ґрунтів безківшевим ротором з енергоємністю 0,200...0,250 кВт·год/м³, значення кінематичного показника роботи ротора повинно бути в межах 6...10. Вирішення задачі пошуку критичного значення величини кінематичного показника роботи ротора в ґрунтах з різними фізико-механічними властивостями слід вважати предметом подальших досліджень.

Зміна геометричних розмірів траверс ротора (насамперед їх довжини-лінійного розміру в площині диска ротора) та кута установки α відносно радіуса центрального диска за результатами виконаних експериментальних досліджень доволі суттєво впливають на енергоємність розробки ґрунтів безківшевим роторним робочим органом.

Встановлено, що зі збільшенням довжини траверс енергоємність розробки ґрунту збільшується, рис. 6. Так за збільшення довжини траверс від 0,15 м до 0,40 м (в перерахунку на «натуру») і копанні ґрунту на різних режимах роботи ротора загальна енергоємність розробки ґрунту збільшується на 36...38 %.

Темпи збільшення енергоємності розробки ґрунту, на наш погляд пояснюються тим, що нормальні по відношенню до траверс ротора навантаження з боку ґрунту, який транспортується у внутрішніх кільцевих порожнинах при зміні тільки довжини траверс залишаються незмінними.

В той же час дотичні складові зовнішніх сил, що діють на ротор з траверсами збільшеної довжини в процесі копання ґрунту збільшуються на 32...93 %. Збільшення дотичних навантажень приводить до збільшення крутного моменту на приводі ротора і, як наслідок, до збільшення енергоємності розробки ґрунту. Збільшення дотичних навантажень на траверси ротора обумовлюється збільшенням сил тертя транспортованого у зовнішніх кільцевих порожнинах ґрунту по поверхні забою. Причиною цього є той факт, що в процесі копання ґрунту ротором частина зрізаного ґрунту не попадає у внутрішні кільцеві порожнини, а накопичується між поверхнею забою та корпусами траверс утворюючи своєрідне кільце з ущільненого ґрунту. Маса накопиченого ґрунту тим більша, чим більша довжина траверс.

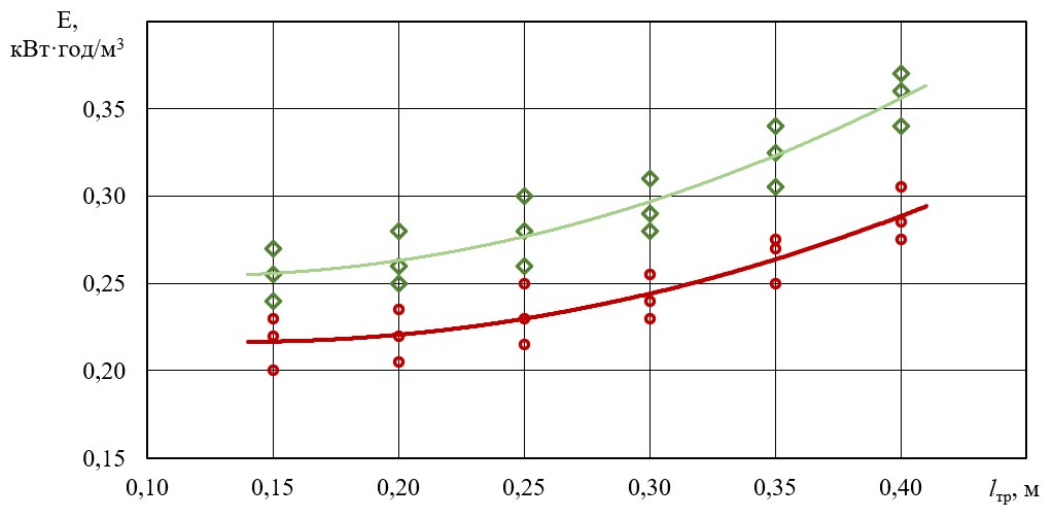


Рисунок 6 – Залежність енергоємності розробки ґрунту ротором за зміни довжини траверс:

○ – $V_p = 0,896$ м/с; $V_e = 0,116$ м/с; $C_{уд.} = 20$; ◇ – $V_p = 1,635$ м/с; $V_e = 0,116$ м/с; $C_{уд.} = 20$

Figure 6 – Dependence of soil excavation energy intensity by the rotor on changes in traverses length

○ – $V_p = 0,896$ м/с; $V_e = 0,116$ м/с; $C_{sh.} = 20$; ◇ – $V_p = 1,635$ м/с; $V_e = 0,116$ м/с; $C_{sh.} = 20$

Таким чином, логічним є висновок про те, що зі збільшенням довжини траверс має місце монотонне зростання енергоємності розробки ґрунту. Це значить що довжина траверс має вибиратись по можливості меншою, виходячи з умови забезпечення конструктивної міцності траверс та можливості кріплення на них ґрунторозробних різців. Збільшення кута установки траверс від 15° до 25° приводить до зменшення енергоємності розробки ґрунту на 10...18 %, рис. 7, що пояснюється, насамперед, змінною самої суті транспортування ротором розробленого ґрунту, на розвантаження – доволі значним стає ефект переміщення траверсами ротора ґрунту на розвантажувальні скребки. Цей ефект підсилюється зі збільшенням швидкості різання ґрунту.

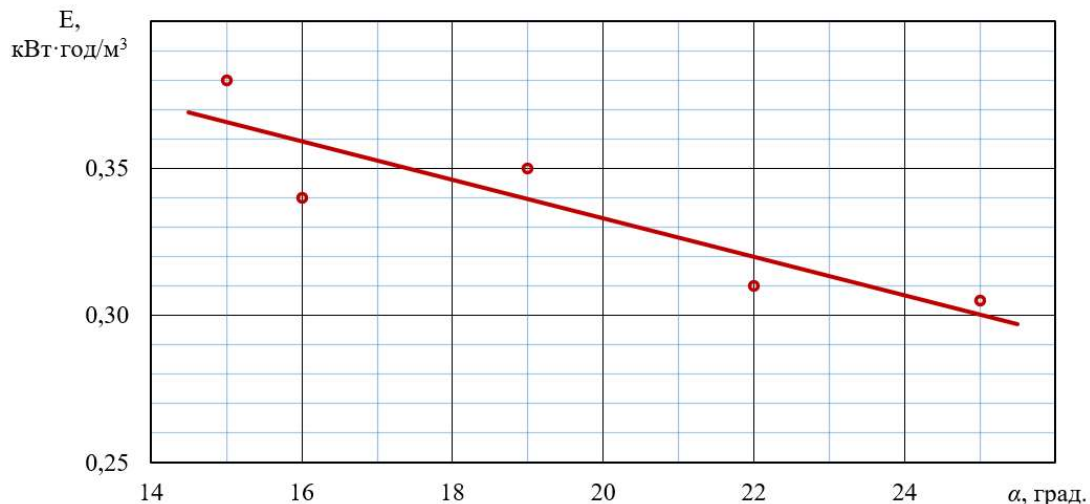


Рисунок 7 – Залежність енергоємності розробки ґрунту від зміни кута встановлення траверс до диску ротора

Figure 7 – Dependence of soil excavation energy intensity on changes in the angle of traverse installation to the rotor disk

Негативним моментом збільшення кута установки траверс на диску є збільшення фактичної товщини зовнішньої кільцевої порожнини ротора. Внаслідок цього гравітаційне розвантаження ґрунту з зовнішньої кільцевої порожнини ускладнюється, що приводить до збільшення залишкових просипів ґрунту на дні споруджуваної траншеї.

Таким чином, можна стверджувати, що збільшення кута установки траверс на диску ротора до $20^{\circ}\dots 25^{\circ}$ може дати суттєвий ефект в процесі розробки сипучих, незв'язних ґрунтів зі швидкостями різання ґрунту, що забезпечують гравітаційне його розвантаження з зовнішньої кільцевої порожнини ротора. Для роботи безківшевого ротора у в'язких, липких ґрунтах, збільшення кута установки траверс зверху 15° буде давати негативний результат.

Висновки та рекомендації.

1. Виконанні дослідження та їх результати дозволяють стверджувати про можливість створення, з використанням безківшевих роторних робочих органів, екскаваторів поздовжнього копання високої продуктивності, енергоємність розробки ґрунту якими становить до $0,25\dots 0,32$ кВт·год/м³.

2. В результаті виконаних експериментальних досліджень з довірчою вірогідністю 0,95, похибкою вимірювань не більше 10% встановлено, що за зміни кінематичного показника режиму роботи безківшевого роторного робочого органа в межах від 8 до 17 енергоємність розробки ґрунтів збільшується на 38-40 %.

3. Під час роботи ротора на режимах, що характеризується кінематичним показником 6...10, енергоємність розробки ґрунту становить $0,25\dots 0,30$ кВт·год/м³, що характерно для роботи траншейних екскаваторів традиційних конструкцій.

4. Під час конструювання безківшевих роторних робочих органів екскаваторів поздовжнього копання довжина траверс має вибиратись мінімальною за умови забезпечення їх міцності.

5. Кут установки траверс на диску ротора має бути в межах $15^{\circ}\dots 20^{\circ}$, що забезпечать гравітаційне розвантаження з зовнішньої кільцевої порожнини ротора як сипучих так і липких, зв'язних ґрунтів.

Перелік посилань

1. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене. Київ. 2018. 282 с.

2. Patent DE 102007056592, 19.06.2008.

3. Patent US 5521579, 28.05.1996.

4. Patent US 5601383, 11.02.1997.

5. Patent JP 2000291048 A, 17.10.2000.

6. Патент України на винахід № 100321. Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М., Поліщук О.В. Робочий орган роторного траншейного екскаватора.

7. Патент України на винахід № 99049. Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М. Робочий орган роторного екскаватора.

8. Мусійко В.Д. Фізико-математичне моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії. Вісник НТУ. Вип. 1(31). – Київ: НТУ, 2015. – С. 385-394.

9. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Безковшовий роторний робочий орган землерийної машини з двохступеневим розвантаженням. Вісник НТУ: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 19. – С. 116-130.

10. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Математична модель процесу розвантаження ґрунту із зовнішньої кільцевої порожнини безковшового ротора траншейного екскаватора. Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 46. – Днепропетровск: ГВУЗ "ПГАСА", 2009. – С. 130-137.

11. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Вибір оптимальних конструктивних параметрів лоткового розвантажувального вузла безківшового ротора траншейного екскаватора. Збірник наукових праць (Серія «Галузеве машинобудування, будівництво»). Вип. № 1(31). Полтава: ПНТУ, 2012. С. 119-124.

12. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Вдосконалення траншейного екскаватора з безківшовим роторним робочим органом. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків : Українська державна академія залізничного транспорту, 2014. – Вип. 148. – С.49-54.

RESEARCH OF THE IMPACT OF KINEMATIC AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF BUCKETLESS ROTARY WORKING BODIES OF TRENCH EXCAVATORS ON THE ENERGY INTENSITY OF SOIL EXCAVATION

Koval Andrii B., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: kandr6104@gmail.com, +3805002408947, <https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, [SCOPUS id 57220055768](https://scopus.id/57220055768)

Patsora Danulo I., master of Science, graduate student of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dpatsora@gmail.com, tel. +380996460618, <https://orcid.org/0000-0001-9515-3672>

Summary. This article delves into the determination of the physical essence of the working process of bucketless rotary working body in longitudinal digging excavators and the rational choice of their kinematic and geometric parameters. The research was conducted using a physical-mathematical modelling stand for continuous-action earthmoving machinery processes, with a physical model of a bucketless rotary working body of a trenching excavator manufactured at a 1:5 scale. The study explores and elucidates the physical nature of trench excavation using a bucketless rotary working body. The process of soil development involves the extraction of soil chips by the rotor from the mass, the movement of the excavated soil into the internal annular cavities of the rotor, jamming the mentioned soil mass in these cavities, and lifting the soil concentrated in these voids to the unloading node of the rotor through the frictional forces of the soil on the working surfaces of the rotor and soil unloading. The transport of the excavated soil by the rotor for unloading is carried out in a continuous flow, rather than in separate portions, as is the case with the working bodies of traditional design.

Forced unloading of soil from the rotor using two-stage unloading nodes allows for effective soil development over a wide range of cutting speeds and fully utilizes any power capacity of the machine's power plant. This advantage of bucketless rotary working bodies in trenching excavators over other traditional designs of working equipment is unique. An analysis of the obtained results of experimental studies of the physical model (1:5 scale) of the bucketless rotary working body of the excavator enabled the determination of the energy intensity of soil excavation, the range of possible changes in the productivity of trenching excavators with bucketless rotary working bodies when changing machine operating modes. It has been proven that the energy intensity of soil excavation with bucketless rotary working bodies is in the range of 0.25...0.30 kWh/m³. Rational values of the constructive parameters of the rotor, namely the width of the rotor's cross-arms and the angle of their installation on the central disk of the rotor, have been established as the main constructive parameters of the rotor.

Keywords: trenching excavator, kinematic indicator, rotor, trench, energy intensity

References

1. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii (Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action) Kyiv. Vydavnytstvo Ludmyla Publ. 2018. 282 s. [in Ukrainian].

2. Patent DE 102007056592, 19.06.2008.

3. Patent US 5521579, 28.05.1996.

4. Patent US 5601383, 11.02.1997.

5. Patent JP 2000291048 A, 17.10.2000.

6. Patent Ukrainy № 100321. Dmytrychenko M.F., Musiiko V.D., Biliakovych M.O., Kuzminets M.P., Klymenko Yu.M., Polishchuk O.V. Robochyi orhan rotornoho transheinoho ekskavatora. (Patent of Ukraine № 100321. Working attachment of a rotor trench excavator). [in Ukrainian].

7. Patent Ukrainy № 99049. Dmytrychenko M.F., Musiiko V.D., Biliakovych M.O., Kuzminets M.P., Klymenko Yu.M. Robochyi orhan rotornoho ekskavatora. (Patent of Ukraine № 100321. Working attachment of a rotor excavator). [in Ukrainian].

8. Musiiko V.D. Phisico-mathematical modeling of the work processes for continuous earthmoving machines. Visnyk National Transport University. Kyiv. National Transport University. 2015. Vol. 1(31). S. 385-394 [in Ukrainian].

9. Musiiko V.D., Klymenko Yu.M. Bezkovshovi rotorni robochi orhan zemleryinoi mashyny z dvokhstupenevym rozvantazhenniam (Bucketless rotary working body of the earthmoving machine with two-stage unloading). Visnyk National Transport University. Kyiv. National Transport University. 2009. Vol. 19. Part 2. S. 116-130 [in Ukrainian].

10. Musiiko V.D., Klymenko Yu.M. Matematychna model protsesu rozvantazhennia gruntu iz zovnishnoi kiltsevoi porozhny bezkovshovoho rotora transheinoho ekskavatora. (Mathematical model of the soil unloading process from the outer annular cavity of the bucketless rotor of the trench excavator). Construction, materials science, mechanical engineering. Lifting and transport, construction and road machines and equipment. № 48. Dnepropetrovsk, 2009. S. 130-137 [in Ukrainian].

11. Musiiko V.D., Klymenko Y.M. The choice of optimal design parameters tray discharge sitebucket without rotor trenchers. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava, 2012. Vol.1(31). S.119-124 [in Ukrainian].

12. Musiiko V.D., Koval A.B. Improvement of the trench excavator with bucketless rotary implement. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport. Kharkiv, 2014. Vol. 148. Part 1. S. 49-54[in Ukrainian].