

## АНОТАЦІЯ

*Гапонов О.О.* Підвищення ефективності багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів на основі критично глибинного блокованого різання ґрунтів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт (13 – Механічна інженерія). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищенню ефективності багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів за рахунок критичноглибинного різання ґрунтів його різцями.

У дисертаційній роботі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано об'єкт, предмет, мету і завдання дослідження, описано методи дослідження, а також визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та надано інформацію про апробацію і публікації результатів дослідження.

Оскільки розробка ґрунту різцями в умовах критично глибинного різання дозволяє зменшити енергоємність процесу створення траншей та підвищення продуктивності роботи ланцюгових траншейних екскаваторів, тому цієї дисертаційної роботи слід вважати актуальною.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні узагальнених теоретичних залежностей, які вперше отримані для визначення основних параметрів робочого органу та режимів роботи ланцюгового траншейного екскаватора у якого різці працюють в умовах критичноглибининого різання ґрунту. Зокрема вперше одержані наступні результати:

– обґрунтовані передумови підвищення ефективності роботи ланцюгових траншейних екскаваторів за рахунок критично глибинного

різання ґрунту та визначено довжину лемеша крайніх бокових різців для цих умов;

- визначені основні параметри робочого органу та режими роботи екскаватора такі як: відстань між суміжними ґрунторозробними органами, число ліній різання і кількість різців, що знаходяться в забої, висоту скребків, швидкість різання та подачі, продуктивність, сумарну силу різання та інші;

- розроблена методика проведення експериментальної перевірки теоретичних положень та створені натуральні зразки різців робочого органу та їх комбінації для їх випробування в ґрунтовому каналі та в польових умов;

- розроблено алгоритм інженерних розрахунків та побудовані номограми для визначення основних параметрів та режимів роботи екскаваторів у залежності від геометричних параметрів різців, параметрів траншеї та ґрунтових умов;

- розрахунками підтверджено економічну ефективність від модернізації ланцюгових траншейних екскаваторів з критично глибинним різанням ґрунту різцями за рахунок зменшення енергетичних витрат на процес розробки ґрунту та підвищення продуктивності розриття траншеї і темпів виконання робіт по прокладанню підземних інженерних комунікацій.

Ефективність роботи ланцюгово-скребкових екскаваторів забезпечується мінімальною енергоємністю робочого процесу та максимальною продуктивністю машини, які в свою чергу залежать від, форми різців, їх кількості та розстановки.

Відомо, що при збільшенні глибини різання ґрунту ножем до критичної глибини енергоємність робочого процесу зменшується, тому що інтенсивність зростання опору різанню менша, ніж площа поперечного перерізу прорізу. При закритичному різанні опір ґрунту різанню ножем збільшується за рахунок пресування ґрунту в бічні стінки прорізу, а площа зони руйнування остається незмінною внаслідок неможливості впливу на процес руйнування ґрунту денної поверхні. В результаті енергоємність робочого процесу підвищується.

Існуючі аналітичні та експериментальні моделі взаємодії багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів з ґрунтом не визначають технологічні параметри машини з урахуванням різання ґрунту різцями на рівні критичної глибини. Таким чином, існуючі рекомендації по проектуванню машин не забезпечують мінімальну енергоємність і максимальну продуктивність робочого процесу.

З метою визначення геометричних параметрів лемеша, що здійснює асиметричне блоковане різання ґрунту було розглянуто характерну форму тіла сколу ґрунту для цього випадку та сили, які діють на нього при взаємодії з ґрантом. З отриманих розрахункових залежностей було встановлено, що відносна довжина лемеша залежить від схеми та кута різання різців і фізико-механічних властивостей ґрунтів. Так при зміні кута різання різців від  $20^\circ$  до  $50^\circ$  відносна довжина лемешів зменшується: для схеми асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями від 3,52 до 1,63 для напівтвердих суглинку та глини та від 2,52 до 0,93 для твердого супіску; для схеми напівблокованого різання середніми різцями від 33,3 до 6,66 для напівтвердих суглинку та глини та від 47,2 до 7,27 для твердого супіску; для схеми напівблокованого різання крайніми боковими різцями від 1,8 до 1,5 для напівтвердої глини, від 1,33 до 1,12 для напівтвердого суглинку та від 0,87 до 0,66 для твердого супіску.

Отримані в роботі залежності по визначенню критичноглибинних сил різання ґрунту та енергоємності процесу розриття траншеї ланцюгово-скребковим екскаватором безперервної дії надають можливість доповнити розрахунки та створити комплексну методику розрахунку машини в основі якій закладені принципи найбільш ефективного руйнування ґрунту блокованого та напівблокованого різання ґрунту різцями робочого органу екскаватора. Встановлено, що енергоємність робочого процесу приймає мінімальні значення при кутах різання різців  $\alpha_p=20\dots30^\circ$ , прямопропорційно зростаючи із збільшенням ширини траншеї. Також енергомісткість зменшується із збільшенням ширини різців.

Питома сила копання (на критичній глибині різання) чисельно дорівнює енергоємності розробки одного кубічного метра ґрунту та для напівтвердого суглинку (ґрунт II категорії) змінюється від 147,7 кПа для  $\alpha_p=20^\circ$  до 225,8 кПа для  $\alpha_p=50^\circ$ .

Для обґрунтування ефективних режимів роботи багато скребкових екскаваторів та ширини їх крайніх бокових різців було визначено умови ефективного розвантаження та встановлені параметри залежності зміни шляху переміщення ґрунту по поверхні розвантажувальних скребоків від часу розвантаження. З цією ж ціллю були визначені залежності швидкості блокового різання від ширини траншеї. Після цього було встановлено технічну продуктивність екскаватора на основі визначення виносної здатності ґрунту однієї групи різців, які працюють в умовах критичної глибини різання ґрунтів з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів. Визначені умови дозволили встановити ширину крайніх бокових різців, що здійснюють асиметричне блокове різання ґрунтів.

Встановлено, що час розвантаження ґрунту із скребоків практично не залежить від їх кутової швидкості приводної зірочки ланцюга в межах її зміни 5...9 рад./хв. в зоні розвантаження. В той же час при збільшенні ширини ножа, наприклад, з 0,02 м до 0,03 м при копанні траншеї в суглинку вимагає зменшення швидкості різання в 1,5 рази.

Отримані розрахункові залежності для розрахунку технічної продуктивності екскаватора були отримані на основі визначення виносної здатності ґрунту однієї групи різців, які працюють в умовах критичної глибини різання, що надало можливість встановити ширину крайніх бічних різців, які здійснюють асиметричне блокове різання. Так, наприклад, для напівтвердого суглинку вона повинна бути більшою за ширину середніх різців

Отримані результати враховують, як технологічні аспекти роботи екскаватору, так і фізико-механічні властивості ґрунтів, що розробляються різцями в умовах критичної глибини їх різання. Це відрізняє проведені в

роботі дослідження від попередніх. Отримані розрахункові залежності дають можливість враховувати та аналізувати основні фактори, що впливають на процеси розробки траншеї та обґрунтувати параметри машини та її робочого обладнання, які забезпечують мінімальну енергоємність та максимальну продуктивність роботи екскаватора з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Таким чином можна стверджувати, що прикладним аспектом використання отриманого наукового результату є можливість вдосконалення робочого обладнання для створення більш ефективних скребковими траншейних екскаваторів. Зниження енерговитрат та підвищення продуктивності є важливими технічними показниками, які визначають собівартість, не тільки копання траншеї, але й в цілому прокладання лінійно-протяжних ділянок розподільних підземних комунікацій.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в розробці методики та створення алгоритму визначення параметрів і режимів роботи ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів на основі критичноглибинного різання ґрунтів. На основі отриманих інженерних розрахунків було складено технічне завдання на модернізацію екскаватора ЕТЦ-208, яке було прийнято ТОВ «НВП «Газтехніка ЛТД» та ТОВ СКТБ «Гідромодуль» в виробництво. Машина була використана при розробці траншей для прокладання підземних комунікацій спеціалізованою будівельною компанією «Харківспецбуд-1».

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі при викладанні лекцій, виконанні практичних, лабораторних робіт та курсового проектування з дисциплін «Машини для земляних робіт», «Динаміка будівельних і дорожніх машин» для студентів освітнього рівня навчання бакалавр та магістр з галузі знань 13 «Галузеве машинобудування» по спеціальності 133 – «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання».

**Ключові слова:** копання траншеї, траншейний екскаватор, скребковий екскаватор, скребок, різець, критична глибина, різання ґрунту.

# ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ВІДОБРАЖАЮТЬ ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

## *Публікації у фахових виданнях України*

1. Кравець С.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О., Бундза О.З. Визначення довжини лемеша та сили різання ґрунту (зубами) траншейних екскаваторів. Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. 2020. Вип. 88, т 2, С. 78–84. (Особистий внесок здобувача: складено розрахункову схему для визначення довжини лемеша та різання ґрунту при критично глибинному блокованому різанню ґрунту різцями ланцюгового екскаватора).

2. Кравець С.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О. Визначення критично-глибинних сил різання ґрунтів та енергоємності ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів. Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. 2021. Вип. 92, т. 1. С. 192–199. (Особистий внесок здобувача: отримано розрахункову залежність для визначення сил критичноглибинного різання ґрунту з урахуванням блокованого різання ґрунту крайніми різцями та розроховано енергоємність процесу).

## *Публікації у періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus або Web of Science*

3. Kravets S., Suponyev V., Goponov O., Kovalevskiy S. Koval A. Determination efficient operating models and sizes of blades for multi-scraper trench excavators. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2020. № 4/1(106). С. 23–28. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208957. (Особистий внесок здобувача: виконано розрахунки параметрів різців екскаватора, які працюють в режимі критично глибинного блокованого різання ґрунту).

4. Кравець С.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О., Бундза О.З. Визначення робочої швидкості, швидкості подачі та швидкості різання

ланцюгово-скребковими траншеєкопачами, що здійснюють критично глибинне різання ґрунту. The 1st International scientific and practical conference «Dynamics of the development of world science», September 25–27. 2019. Perfect Publishing, Vancouver. С. 328–334. (Особистий внесок здобувача: отримано розрахункові моделі для визначення швидкості подачі та різання ґрунту робочим обладнанням ланцюговоскребкових екскаваторів).

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

5. Супонєв В.М., Гапонов О.О., Косяк О.В. Обумовлення параметрів та критично глибинних режимів роботи багато скребкових екскаваторів «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів»: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції – Дніпро: 2018. С. 33–34.

6. Кравець С.В., Лук'янчук О.О., Гапонов О.О., Косяк О.В. Визначення критичної глибини різання ґрунту боковими різцями (зубами) траншейних екскаваторів. Збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції. «Building Innovations – 2019», 23–24 травня 2019 р. Полтава: ПолтНТУ, 2019. С. 97–99.

7. Супонєв В.М., Гапонов О.О. Встановлення ефективних режимів роботи багато скребкових траншейних екскаваторів з критично-глибинними різцями // II Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні технології і мехатроніка» (28 травня 2020 р.), ХНАДУ, 2020. 391-393 с.

8. Кравець С.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О. Визначення енерговитрат роботи скребкового екскаватора в умовах критично глибинного різання ґрунту різцями. VI міжнародна науково-практична конференція «Трансфер інноваційних технологій 2020», 20–21 травня 2020 р. Київ, КНУБА, 2020. С. 71–73.

*Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації*

9. Гапонов О.О. Встановлення технічної продуктивності ланцюгового екскаватора з різцями, що працюють в умовах критичноглибинного різання ґрунтів. *Transfer of Innovative Technologies*, 2021, 4(1), 78–81. <https://doi.org/10.32347/tit2141.0210>

10. Гапонов О.О., Косяк О.В., Пухтаєвич О.І. Передумови створення критично-глибинних режимів роботи багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів / *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. – 2018. №103, с.145-152. (Особистий внесок здобувача: виконано огляд досліджень роботи ланцюгових екскаваторів та проведений їх аналіз).

11. Кравець С.В., Гапонов О.О., Косяк О.В., Янчик Т.О. Визначення числа ліній різання та висоти ґрунтотранспортуючих скребків ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних та дорожніх машин. Серія: Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання* // *Зб. наук. пр. № 107. Дніпро : ДВНЗ «ПДАБА», 2019. с. 66-74.* (Особистий внесок здобувача: виконано розрахунок числа ліній різання та висоти ґрунтотранспортуючих скребків ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів).

12. Кравець С.В., Лук'янчук О.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О. Методика розрахунку параметрів скребкового робочого органу траншейного екскаватора на основі критичноглибинного різання ґрунтів. *Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. Київ, КНУБА, 2020. №96. С. 5–12.* (Особистий внесок здобувача: додані до інженерної методики розрахунку ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів розрахункові залежності, які враховують критично глибинне різання ґрунту з урахуванням блокованого різання крайніми боковими різцями).