

УДК 621.879.323

Держинська О.В., аспірант  
(ДДМА)

## ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ОПОРНИХ ПОВЕРХОНЬ КРОКУЮЧОГО ЕКСКАВАТОРА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ҐРУНТАМИ РІЗНИХ РОДОВИЩ

Держинская О.В., аспирант  
(ДГМА)

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ҐРУНТАМИ РАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Dzerzhinska O.V., Doctoral Student  
(DSMA)

## EFFECT OF BEARING FACES DESIGN IN THE WALKING EXCAVATOR IN ITS INTERACTION WITH SOILS IN DIFFERENT DEPOSITS

**Анотація.** Дослідження роботи механізму пересування крокуючих екскаваторів представляє досить важливу задачу, практичне значення якої визначається необхідністю пошуку шляхів вдосконалення ходового обладнання екскаваторів- драглайнів за рахунок модернізації опорної поверхні лиж механізму переміщення крокуючого екскаватора.

Дані таких досліджень вкрай необхідні для встановлення дійсних параметрів, що характеризують роботу механізму крокування в різних умовах, і з'ясування причин незадовільного крокування екскаваторів по різних ґрунтах.

У даній статті наведена нова конструкція опорних елементів лижі, яка дозволяє збільшити швидкість пересування крокуючого екскаватора за рахунок зменшення пробуксовування лиж при кожному кроці. Приведені результати експериментальних досліджень по скельному ґрунту і слабкому ґрунту (супісь). Вони показали, що застосування нової конструкції опорних елементів значно збільшить прохідність екскаватора-драглайна.

**Ключові слова:** екскаватор-драглайн, крокуючий рушій, лижа, опорні елементи

**Вступ.** Крокуючі екскаватори використовуються для будівельних, меліоративних та на відкритих роботах на родовищах. Крокуюче ходове обладнання драглайнів незамінне для роботи на слабких ґрунтах. Великі опорні поверхні забезпечують малий питомий тиск, а податливість ґрунтів забезпечує рівномірність розподілу тиску під опорною поверхнею лиж [1-4] Однак крокуючий рушій має свої недоліки: низьку швидкість пересування, значну маса екскаватора-драглайна, недостатньо ефективну конструкцію опорних елементів лижі та механізму крокування і інші, що привело до необхідності наукових досліджень [5]. Однак, незважаючи на велику кількість досліджень, виникає ряд невирішених питань, які мають інтерес для інженерної практики. Одним з таких питань є взаємодія опорної поверхні лижі з ґрунтом.

**Теоритична частина.** У сучасному екскаваторобудуванні найчастіше випускають крокуючи екскаватори з лижами (рис. 1), які включають порожнистий корпус, що містить верхній пояс 1 і бічні стінки 2, з'єднані з нижнім поясом 3, який виконаний гнучким, у вигляді суцільної еластичної оболонки. Внутрішній об'єм кожної лижі заповнений пружними елементами, наприклад у вигляді порожніх куль 4. Під час сходження, коли лижа спирається на ґрунт, гнучкий нижній пояс деформується, копіюючи рельєф місцевості, при цьому кулі вільно перекочуються усередині полого корпусу, утворюючи горизонтальний верхній шар, на який і спирається верхній пояс [6].

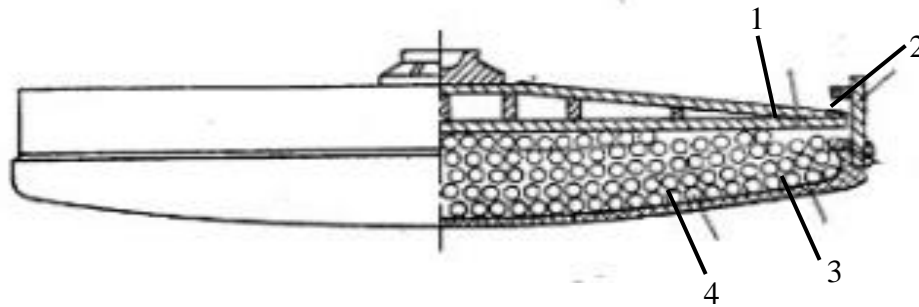


Рисунок 1 – Конструкція лижі, що випускається найчастіше

Таке виконання лиж крокуючого механізму забезпечило щільне притиснення їх до ґрунту, зменшило можливе прослизання лиж під час сходження і підвищило проходність драглайна.

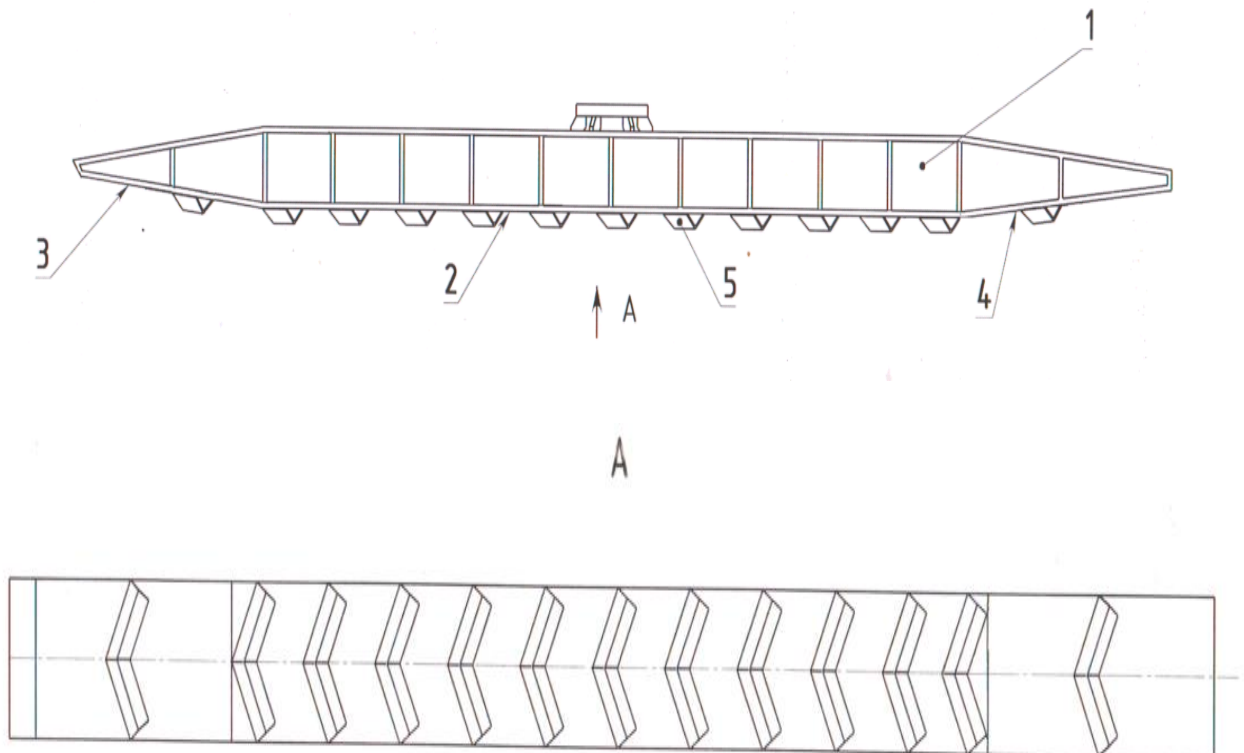
Головним недоліком відомої лижі крокуючого механізму є висока вартість виготовлення і ремонту гнучкого нижнього поясу; крім того, існує небезпека його пошкодження поясу при випадковому його наїзді на гострі предмети. В основу проектування нової конструкції опорних елементів лижі драглайна поставлена задача підвищити ефективність роботи механізму крокування шляхом збільшення лінії контакту опорного елемента з ґрунтом за рахунок збільшення площі деформації ґрунту опорних елементів і сили опору ґрунту.

Запропонована конструкція опорного елемента лижі являє собою рівномірно розташовані опорні елементи на нижній опорній поверхні лижі крокуючого механізму, кожен опорний елемент виконаний у вигляді ламаної лінії, що нагадує за своєю будовою «шеврон»; при цьому вершини кутів опорних елементів спрямовані в бік руху і розташовані на поздовжній осі лижі, крім того на похилій опорній поверхні лижі встановлені як мінімум два опорних елемента.

Завдяки тому, що в лижі крокуючого механізму кожен опорний елемент виконано у вигляді ламаної лінії і при цьому вершини кутів опорних елементів спрямовані в бік руху і розташовані на поздовжньої осі лижі, забезпечено збільшення лінії контакту кожного опорного елемента з ґрунтом і площі деформації ґрунту опорного елемента та сили опору зсуву ґрунту, підвищена ефективність роботи крокуючого механізму.

Лижі крокуючого механізму (рис. 2) складається з корпусу 1, виконаного у вигляді зварної з листового вальцювання балки. Опорна поверхня лижі

складається з горизонтальної поверхні 2 і двох похилих поверхонь 3 і 4. На горизонтальній опорній поверхні 2 рівномірно розташовані опорні елементи лижі крокуючого екскаватора 5.



1-корпус; 2- горизонтальна поверхня; 3,4 - похила поверхня; 5- опорний елемент лижі

Рисунок 2 – Вдосконалена конструкція опорної поверхні лиж крокуючого екскаватора

Опорні елементи лижі 5 закріплені симетрично до поздовжньої осі лижі, а вершина кожного опорного елемента спрямована в бік руху машини.

Таке розташування опорних елементів лижі 5 крокуючого екскаватора забезпечило збільшення лінії контакту кожного опорного елемента з ґрунтом і зменшило величину деформації ґрунту опорного елемента під час сходження і, як наслідок, - збільшило тангенціальні сили опору, що діють на опорні елементи лиж. Таким чином усунуті можливо ковзання лижі по ґрунту під час сходження і підвищена ефективність роботи крокуючого механізму.

Робота запропонованої конструкції опорних елементів лиж механізму крокування відбувається таким чином, наприклад, під час сходження драглайна, лижі крокуючого механізму розташовані симетрично до поздовжньої осі машини, здійснюють плоско-паралельне переміщення в бік руху машини і опускаються на ґрунт.

Розглянемо роботу крокуючого механізму під час руху по різному типу ґрунту: скельному (наприклад для родовищ залізної руди Кривбасу) ( рис. 3) і слабкому (супісь, розкривні роботи на родовищах ельмініту на Житомирщині).

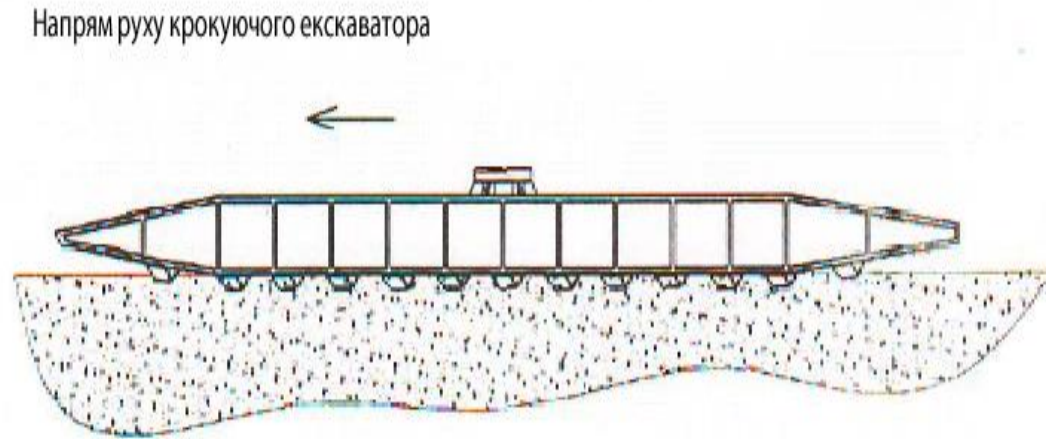


Рисунок 3 – Робота крокуючого механізму під час руху по щільному ґрунту

У разі руху екскаватора-драглайну по щільному ґрунту, під дією зусиль, що передаються двигуном крокуючого механізму, відбувається притискання опорної поверхні 2 кожної лижі в ґрунт і занурення в ґрунт опорних елементів лижі 5 крокуючого екскаватора. За рахунок виконання опорних елементів 5 у вигляді ламаної лінії, а саме у вигляді «шеvronи», і напрямок вершин кутів кожного опорного елемента лижі в сторону руху машини, збільшена загальна довжина лінії контакту опорних елементів з ґрунтом, і як наслідок, збільшено площу ґрунту, що мнеться опорними елементами лижі крокуючого екскаватора.

Внаслідок збільшення площі м'ятою опорними елементами лижі ґрунтом збільшуються тангенціальні сили опору. Це забезпечило надійне утримання кожної лижі нерухомою щодо ґрунту, усунуло її ковзання і збільшило ефективність роботи крокуючого механізму драглайна.

За рахунок того, що опорні елементи лижі 5 крокуючого екскаватора встановлені симетрично до поздовжньої осі лижі, усунути виникнення додаткових бічних зусиль, що діють на лижу і елементи крокуючого механізму. У разі якщо машина крокує по пухкому або «слабкому» (рис. 4) ґрунту під дією зусиль від крокуючого механізму, як і в першому випадку, відбувається притискання опорної поверхні 2 кожної лижі до поверхні ґрунту.

При цьому відбувається ущільнення пухкого шару ґрунту і занурення лиж на певну глибину. Внаслідок цього, під час сходження в роботу вступають не тільки опорна поверхня 2, але і похилі поверхні 3 і 4. У той же час з ущільненням ґрунту відбувається також занурення в ґрунт опорних елементів лижі 5 крокуючого екскаватора, розташованих на вищезазначених поверхнях. Наслідком цього є утворення тангенціальних сил опору, що діють на кожен опорний елемент лижі крокуючого екскаватора.



Рисунок 4 – Робота крокуючого механізму під час руху по пухкому ґрунту

Таким чином, під час крокування по пухкому або «слабкого» ґрунту, у створенні сил опору ковзанню лиж щодо ґрунту беруть участь всі опорні поверхні 2, 3 і 4 і всі опорні елементи 5 кожної лижі. Це підвищує ефективність роботи крокуючого механізму і ефективність переміщення драглайна по пухким і «слабким» ґрунтам.

**Експериментна частина.** Для підтвердження теоретичних досліджень було проведено такий експеримент. Було виготовлений лабораторний стенд (рис.5,6), що складається з ґрунтового каналу 1, на ґрунт встановлюється лижа 2, до неї кріпляться опорні елементи 3. До лижі за допомогою болтових з'єднань 4 кріпиться датчик вимірювання сили 5. За допомогою каната 6 до лижі через лебідку 7 передається зусилля, яка створює імітацію навантаження від механізму крокування через сферу ноги на лижу. При обертанні барабана канат лебідки передає зусилля яке наростаюче досягає перевищення сили зчеплення, що приводить в рух лижу. Зчитуються показання з датчика 5, який за допомогою аналого-цифрового перетворювача виводить результат на екран ноутбука. Таким чином відбувається вимірювання сили, рівної сили тертя. Нормальна сила створюється за допомогою вантажів 8.

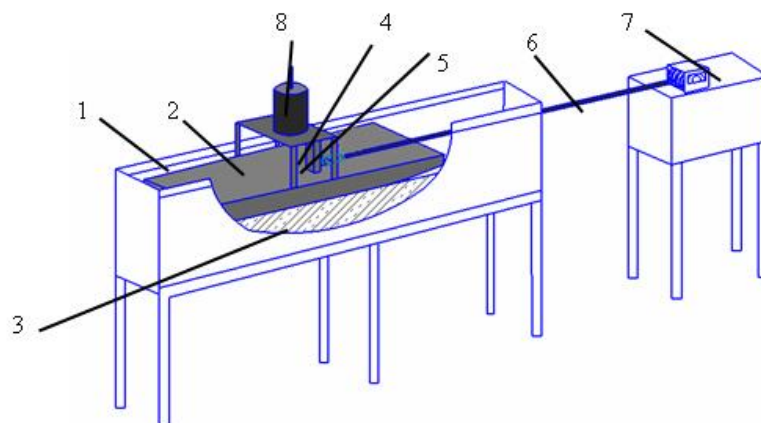


Рисунок 5 – Принципова схема експериментального стенду для дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лижі екскаватора – драглайну з ґрунтом



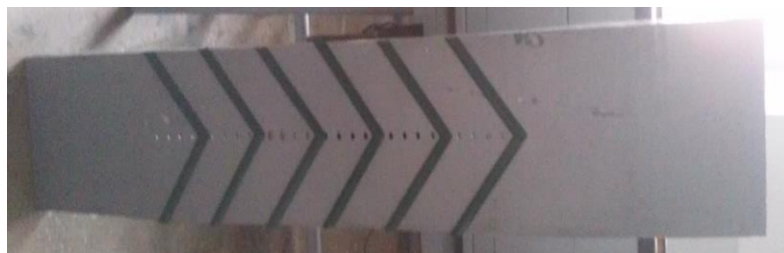


Рисунок 6 – Експериментальний стенд для дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лижі екскаватора – драглайну з ґрунтом

Експеримент проводився з застосуванням різних опорних елементів лижі крокуючого екскаватора, також змінювалось розташування опорних елементів (рис. 7)



а)



б)



в)

а) -лижа без опорних елементів; б) – лижа з опорними елементами в прямому напрямку; в) – лижа з опорними елементами в зворотному напрямку

Рисунок 7 - Розташування опорних елементів лижі

Експериментальні дослідження процесів зчеплення і тертя лиж з ґрунтом виконаний із застосуванням методів фізичного моделювання систем і математичної теорії планування експериментів.

В ході експерименту були розраховані коефіцієнти тертя опорної поверхні лижі з ґрунтом за такою формулою [4]:

$$f = \frac{T}{N},$$

де  $T = n - n_0$  – тягове зусилля у канаті при переміщенні лижі, Н;  $N = (m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \cdot g$  – нормальна сила, Н;  $n$  - показники датчика 5 під час руху лижі;  $n_0$  - показники датчика 5 при  $T=0$  (канат послаблений);  $m_{\text{л}}$  - маса лижі;  $m_{\text{в}}$  - маса вантажу, прикладеного до лижі

За отриманими даними були отримані наступні залежності (рис. 8,9)

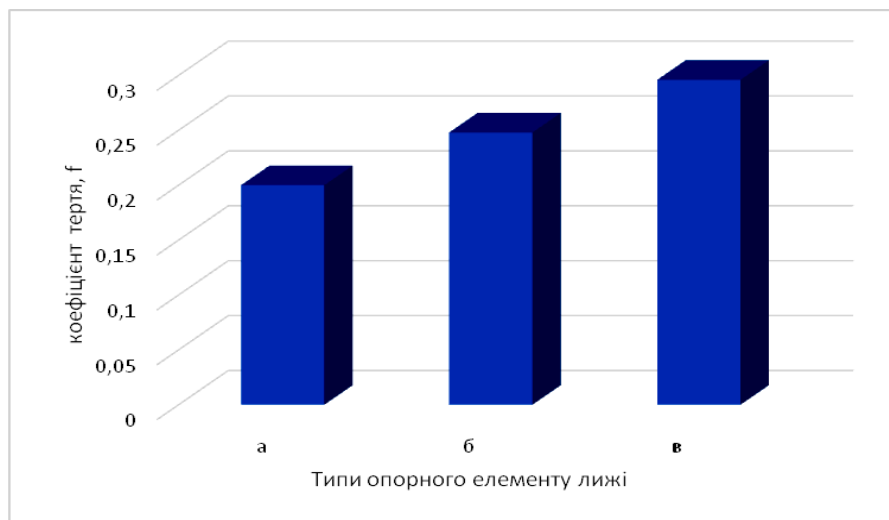


Рисунок 8 – Гістограма залежності коефіцієнту тертя від встановленого опорного елемента лижі по скальному ґрунту

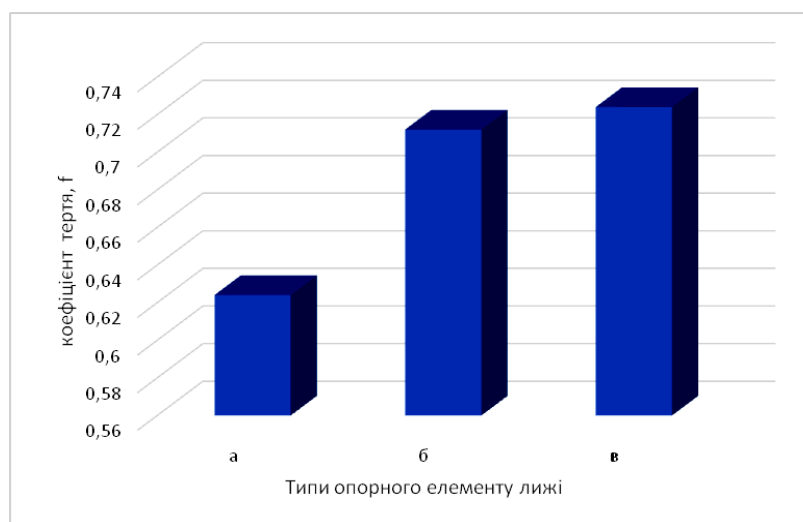


Рисунок 9 – Гістограма залежності коефіцієнту тертя від встановленого опорного елемента лижі по ґрунту супісь

**Висновки.** Приведена нова конструкція опорних елементів лижі, яка дозволить покращити зчеплення крокуючого екскаватора з ґрунтом, збільшити зону зчеплення, зменшити пробуксовування, і в значній мірі зменшити час пересування екскаватора до нового місця стоянки.

При розгляді опорних елементів шевронною форми в випадки зі скельними ґрунтами в порівнянні з лижою без опорних елементів зміни відбулися незначні і не перевищують 3-5%, при розгляді цих же конструкції при переміщенні по ґрунту «супісь», ми бачимо істотне збільшення зчеплення в 1,4-1,5 рази. Це показує що запропонована конструкція опорних елементів буде працювати найбільш ефективно на слабких ґрунтах, тобто ймовірність пробуксовування при застосуванні опорних елементів «шевронної» форми буде мінімальним.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Подерни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров / Р.Ю. Подерни –М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 680 с.
2. Шеффлер, М. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М.Шеффлер, Г.Пайер – М.: Машиностроение, 1980. – 255 с.
3. Ефременков, А.Б. Горные машины и оборудование / А.Б. Ефременков – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 152 с.
4. Баловнев В.И. Определение оптимальных параметров и выбор землеройных машин в зависимости от условий эксплуатации / В.И. Баловнев – М.: МАДИ (ГТУ), 2010. – 134 с.
5. Держинська, О.В. Дослідження техніко-економічного питання використання крокуючого кривошипно-важильного механізму на драглайні / О.В.Держинська // Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв: Всеукраїн. научн.-прак. конф., 11-12 квітня 2017 р.: збірник наукових праць -Покровськ: ДВНЗ “ДНТУ”, 2017. – С. 32-37.
6. Держинська, О.В. Вплив форми опорної поверхні лижи на переміщення крокуючого екскаватора/ О.В.Держинська, І.В.Крупко, О.В.Котляр // Збірник наукових трудів "Вісник НТУ "ХПІ": Технології в машинобудівництві. - Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – Вип.26(1248). – С. 81-85.

#### REFERENCES

1. Poderni, R.Ju.(2007), *Mechanicheskoe oborudovanie karyerov* [Mechanical equipment of quarries], Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, Moscow, RU.
- 2.Scheffler, M. and Payer, G. (1980), *Osnovy rascheta i konstruirovaniya podemno-transportnyh mashin* [Foundations of calculation and design of lifting and transporting machines], Mashinostroenie, Moscow, RU.
3. Efremenkov, A.B. (2009), *Gornye mashiny i oborudovanie* [Mining machinery and equipment], Izdatelstvo Tomskogo politichnicheskogo universiteta, Tomsk, RU.
4. Balovnev, V.I. (2010), *Opređenje optimalnykh parametrov i vybor zemleroynykh mashin v zavisimosti ot usloviy ekspluatatsii* [Determination of optimal parameters and selection of earth-moving machines depending on the operating conditions], MADI (GTU), Moscju, RU.
5. Dzerzhinskaya, O.V. (2017), “Investigation of the technical and economic issue of using a stepping crank-weighting mechanism on draglines”, *Modern aspects of mechanization and automation of energy-intensive industries.All-Ukrainian. Scientific-practical Conf., April 11-12, 2017. Collection of Scientific Papers, Pokrovsk, UA*, pp.. 32-37.
6. Dzerzhinskaya, O.V., Krupko, I.V., and Kotlyar, A.V. (2017), “Influence of the shape of the reference surface of the ski on the movement of a walking excavator”, *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry*, no. 26 (1248), pp.81–85.

#### Про автора

**Держинська Ольга Віталіївна**, аспірант кафедри «Підйомно-транспортні машини» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ; [olgadzerzhins@gmail.com](mailto:olgadzerzhins@gmail.com).

#### About the author

**Dzerzhinskaya Olga Vitaliivna**, Doctoral Student of the Department "Lifting-transport vehicles" of the Donbas State Machine-Building Academy, Kratomorsk, [olgadzerzhins@gmail.com](mailto:olgadzerzhins@gmail.com).



**Аннотация.** Исследование работы механизма передвижения шагающих экскаваторов представляет важную задачу, практическое значение которой определяется необходимостью, поиска путей совершенствования ходового оборудования экскаваторов-драглайнов, за счет модернизации опорной поверхности лыж механизма перемещения шагающего экскаватора.

Данные таких исследований крайне необходимы для установления действительных параметров, характеризующих работу механизма восхождения в разных условиях, и выяснения причин неудовлетворительного восхождения экскаваторов по различным почвам.

В данной статье приведена новая конструкция опорных элементов лыжи, которая позволяет увеличить скорость передвижения шагающего экскаватора за счет уменьшения пробуксовки лыж при каждом шаге. В данной работе приведены результаты проведения экспериментальных исследований по скальному грунту и слабому грунту (супеси). Результаты показали, что применение новой конструкции опорных элементов значительно увеличит проходимость экскаватора-драглайна.

**Ключевые слова:** экскаватор-драглайн, шагающий движитель, лыжа, опорные элементы

**Abstract.** Study of travel mechanism in the walking excavators is a very important task, practical significance of which is determined by the need to find ways of how to improve undercarriage in the excavator-draglines through modernization of the ski bearing faces of the travel mechanism in the walking excavator.

Data of such studies are extremely necessary for determining actual parameters, which characterize operation of travel mechanism in different conditions, and finding out reasons of unsatisfactory travelling of excavators on different soils.

In this article, a new design of bearing elements for the skies is presented, which speeds up travelling of walking excavator due to the ski reduced skidding at each step. Further, results of experimental studies in conditions of rocky and weak soils (clay sands) are presented, which showed that implementation of the new design of bearing elements would greatly increase the excavator-dragline floatation.

**Keywords:** excavator-dragline, walking motor, ski, bearing elements

*Статья поступила в редакцию 5.08.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком*