

Болокан І.Г.¹, Целікова А.С.¹, Надєєва К.В.²

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна

²Херсонський багатопрофільний ліцей №20, м. Херсон, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ГНУЧКОПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНОВОГО ТРИБОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

За останні десятиріччя все частіше виникає проблема відсутності прогнозування зношування робочого обладнання в землерийних машинах. Саме ця група машин виконує найбільш трудомістку роботу а їх продуктивність на пряму залежить від ґрунтів в яких вони працюють. Для вирішення цього питання автори пропонують використовувати модель гнучкопереналагоджуваного триботехнічного комплексу з комп'ютерним управлінням, для моделювання процесу роботи технологічних машин при тривалій їх експлуатації в умовах, що імітують реальні, з метою встановлення, вже на стадії проектування, оптимальних конструктивних параметрів робочих органів, а також економічно доцільних термінів їхньої служби за критеріями енергозбереження.

Розроблений комплекс моделює фізико-механічні властивості конкретні види ґрунтів в ємності, яка заповнюється сумішшю, що складається з твердої і квазірідкої субстанції, що є магнітною рідиною, в'язкість якої змінюється у магнітному полі у дуже широкому діапазоні. Таким чином утворюється робоче середовище, яке може змінювати свої фізико-механічні властивості залежно від напруженості магнітного поля, що впливає на цю суміш. За допомогою даного комплексу також можна визначати раціональний спосіб та властивості нанесення захисних покриттів на окремі елементи робочих органів землерийних машин.

Організована таким чином технічна система, що імітує роботу робочого обладнання землерийної машини в різних природних умовах, передбачає безперервну фіксацію та запам'ятовування витрати енергії залежно від конструктивних особливостей та фактичного зношування робочого обладнання, що дозволяє, в експрес-режимі, отримати практично всі вихідні дані для проектування робочих органів, нових поколінь, для землерийної техніки, працюючих з мінімальною витратою енергії при видобуванні корисних копалин або проведенні будівельних робіт.

Ключові слова: триботехнічний комплекс, комп'ютерне управління, робоче обладнання землерийної машини, соленоїд, джерело живлення.

ВСТУП

Машини для земляних робіт використовуються як в промисловому, так і в цивільному будівництві, саме тому ця техніка займає провідне місце у сучасному будівництві. Майже 30% робіт на будівниці виконується даним видом техніки за допомогою його робочого обладнання. В основі такої техніки лежать науково-технічні принципи створення високошвидкісних та малоенергоємних технологій і машин для руйнування природних та штучних середовищ (ґрунтів, порід, мулів, залізобетонів тощо) в різних умовах.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз відомих публікацій за останнє десятиріччя встановив, що більшість авторів [1-7] мають єдину думку відносно того, що основною проблемою робочих органів землерийних машин це значні енерговитрати при роботі та швидко зношувальні елементи робочих органів. Для вирішення цієї проблеми науковці пропонують зменшити сили взаємодії різальних елементів з ґрунтом.

Автори [8] запропонували пристрій для імітаційного моделювання процесу силової взаємодії в системі «робочий орган – ґрунт», що включає транспортер, привід транспортера, ланцюг його приводу, механізм приводу, рольганг з ящиком ґрунту, який рухається відносно робочого органу досліджуваної машини.

До основних недоліків відомого пристрою відноситься наступне:

1. Тривалість процесу та його приривання в наслідок постійної необхідності переустанови ящиків з ґрунтом у вихідне положення при закінченні робочого ходу зразка що досліджується.
2. Відсутність, якої небудь, автоматизації експериментальних досліджень та контролю за ходом їх виконання.
3. Відсутність можливості зміни фізико-механічних властивостей ґрунту, яке властиве природним умовам.

Основним недоліком відомого пристрою, обраного як прототип, є неможливість отримання достовірної та безперервної інформації про силову взаємодію в зоні «робочий орган - ґрунт» і як наслідок, відсутність фіксації збільшення витрати енергії на подолання сил опору зовнішнього

середовища функціональним переміщенням робочого органу машини в процесі зношування останнього.

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В основу даної роботи поставлена задача розробки конструкції гнучкопереналаджуваного триботехнічного комплексу з комп'ютерним управлінням для моделювання процесу роботи технологічних машин, на прикладі екскаватора, при тривалій їх експлуатації в умовах, що імітують реальні, з метою встановлення, вже на стадії проектування, оптимальних конструктивних параметрів робочих органів, а також економічно доцільних термінів їхньої служби за критеріями енергозбереження.

Вирішити завдання імітаційного моделювання кінематики руху робочого органу екскаватора при видобуванні корисних копалин у конкретних умовах його експлуатації та безперервної фіксації енерговитрат, що витрачаються при здійсненні процесу копання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досягнення поставленої мети здійснюється шляхом введення в конструкцію пропонованого гнучкопереналаджуваного комплексу [8] приводів зворотно-поворотних та реверсно-лінійних рухів робочого органу екскаватора, що дозволяє повністю відтворити кінематику його функціонування при видобутку корисних копалин та отримати результати експериментів у прискореному режимі.

Автори розробили та запатували винахід на корисну модель «Мехатронний триботехнічний комплекс» [9]. Винахід представляє собою імітаційну моделі системи «робочий орган – ґрунт», яка має можливість відтворення всіх необхідних функціональних рухів робочих органів машини, а також запрограмованої зміни властивостей досліджувальних ґрунтів. Приведення вищезазначеної системи в прискорену силову взаємодію реалізується на принципах мехатроніки, яка передбачає одночасне та паралельне комп'ютерне управління усіма її складовими, які беруть участь у відтворенні робочих і холостих рухів машини (рис.1).

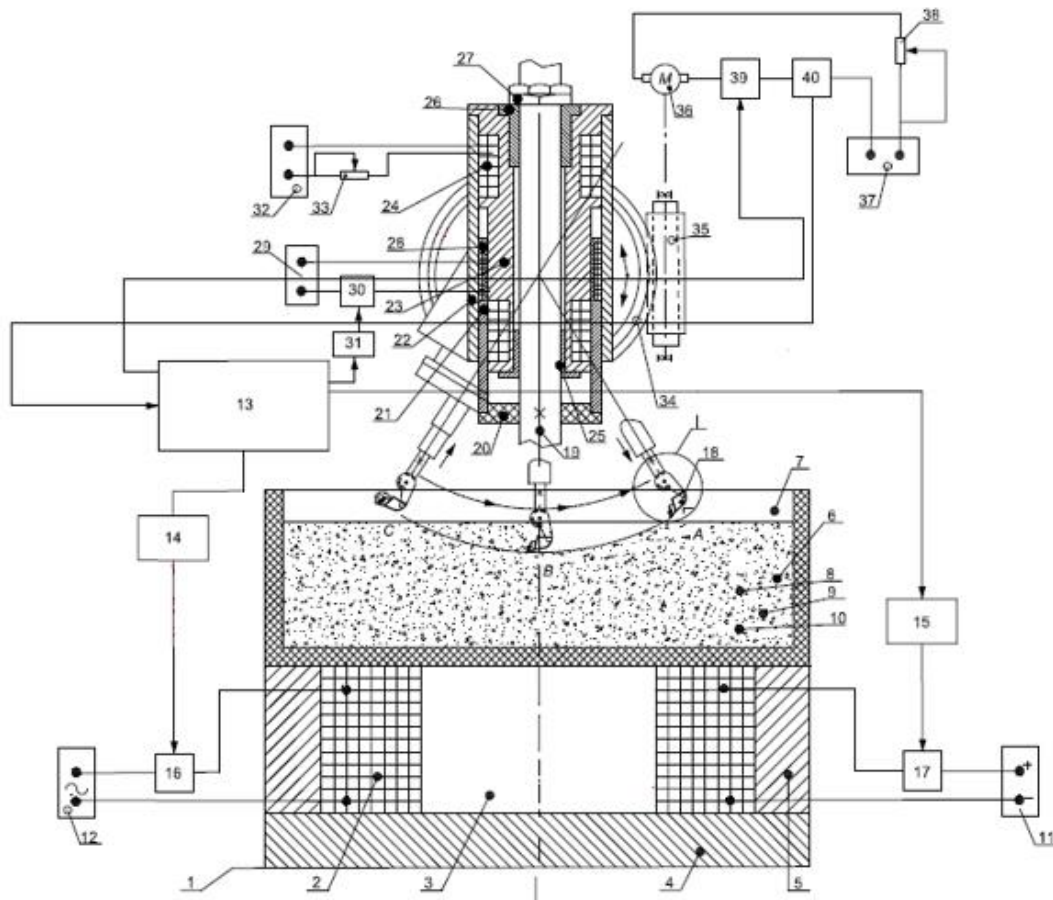


Рис. 1. Електрокінематична схема мехатронного триботехнічного комплексу

Винахід [9] відноситься до галузі машинобудування та призначено для прискорених комплексних випробувань робочих органів землерийних та ґрунтообробних машин в умовах реально відтворюючих фізико-механічні властивості досліджувальних ґрунтів та динаміку їх змін.

Крім того, задана мета також досягається за допомогою моделювання фізико-механічних властивостей конкретно розроблюваного ґрунту в ємності, яка заповнюється сумішшю, що складається з твердої фракції (пісок, глина, чорнозем, щебінь, галька, камінь і т.д.) і квазірідкої субстанції, що є магнітною рідиною, в'язкість якої змінюється у магнітному полі у дуже широкому діапазоні. Таким чином утворюється робоче середовище, яке може змінювати свої фізико-механічні властивості від квазірідкого стану (болотиста місцевість), до затвердіння (тундри) залежно від напруженості магнітного поля, що впливає на цю суміш.

Слід також зазначити, що тверді компоненти робочої суміші повинні відповідати тому складу та характеристикам ґрунту певного регіону, в якому планується експлуатація проектного робочого органу землерийної машини, а для управління імітаційними процесами до складу комплексу входить реєструюча апаратура, що працює в безперервному режимі, інформацію з якої запам'ятовують електронні блоки, а також мехатронні модулі, що здійснюють функціонування всієї системи в загалі.

Організована таким чином технічна система, що імітує роботу робочого обладнання землерийної машини в різних природних умовах, передбачає безперервну фіксацію та запам'ятовування витрати енергії залежно від конструктивних особливостей та фактичного зношування ковша екскаватора, що дозволяє, в експрес-режимі, отримати практично всі вихідні дані для проектування робочих органів нових поколінь екскаваторів, працюючих з мінімальною витратою енергії при видобуванні корисних копалин або проведенні будівельних робіт.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Гнучкопереналагоджуваний триботехнічний комплекс готується до роботи у декілька етапів:

1. Розробляється програма функціональних переміщень досліджуваного зразка та завантажуються до керуючого комп'ютера.
2. Готується робоча суміш.
3. Встановлюються закономірності зміни фізико-механічних властивостей робочої суміші під впливом магнітного поля різної напруженості та отримані відомості вносяться до пам'яті комп'ютера.
4. Виконуються експериментальні дослідження конструкції ковша у цілому та за окремими елементами, також встановлюються закономірності зміни енерговитрат у залежності від зносу ковша.

Перший етап включає в себе підбір властивостей ґрунтів характерних для тієї місцевості де припускається застосовувати проектований екскаватор, також отримання апріорної інформації про динаміку змін його фізико-механічних властивостей у залежності від пор року.

У той же час визначається пропорція «тверда фаза – рідина» у системі що імітує ґрунт, тобто у робочій суміші.

На другому етапі підготовки досліджень необхідно провести серію експериментів по визначенню впливу силових параметрів магнітного поля, яке утворюється соленоїдом, на зміну фізико-механічних властивостей робочої суміші та збудувати відповідні залежності «сила струму = фізико-механічні властивості робочої суміші».

Після виконання попередніх робіт необхідно у ручному режимі налаштувати комплекс на:

1. Глибина копання.
2. Швидкість переміщення ковша відносно ґрунта як переробляється.
3. Кут вривання зуба ковша екскаватора у ґрунт який досліджується (робочу суміш).
4. Швидкість виконання робочого та холостого ходу.

Отримав вихідні дані, комплекс починає роботу наступним чином.

Завантажують робочу суміш до ємності таким чином, щоб висота при експериментах дозволяла виконувати необхідні налаштування на робочий та холостий переміщення ковша екскаватора (рис.2) без її витікання за межі ємності.

Далі встановлюється ковш у вихідне положення, чим визначають необхідне положення для дослідження та знаходження оптимального кута силової взаємодії зуба ковша екскаватора із робочим середовищем яке переробляється.

Далі шляхом підняття ємності за допомогою домкратів, доводять до торкання поверхні суміші із зубом досліджуваного ковша.

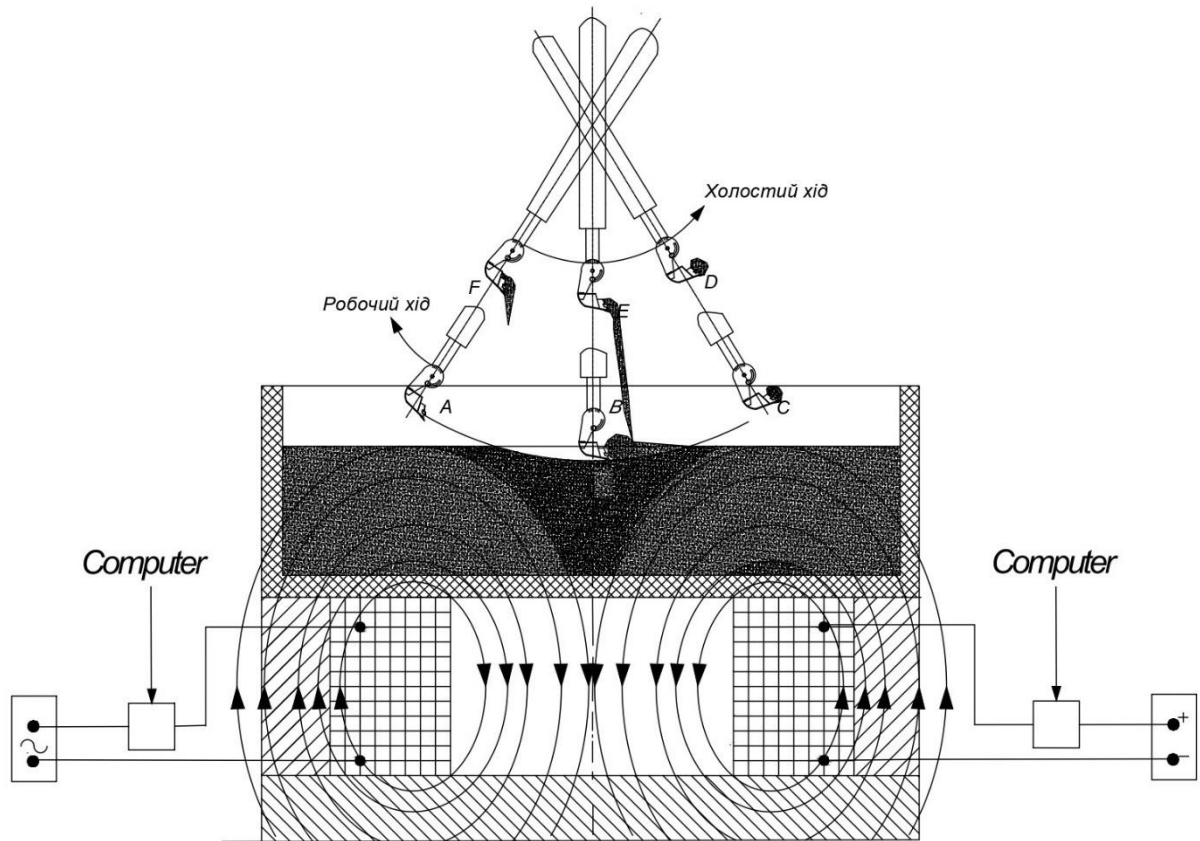


Рис. 2. Схема робочого та холостого руху ковша екскаватора

Поверхню робочої суміші вирівнюють ручним включенням імпульсного джерела живлення, що призводить до виникнення вібрації у робочій суміші та її перетворення до квазіжидкого стану з рівномірним розподілом твердих фракцій по всьому обсягу ємності. Такий стан фіксується, «заморожується», шляхом включення джерела постійного струму, при цьому час вимкнення джерела повинно бути синхронізоване із часом включення джерела таким чином, щоб не допустити розшарування робочої суміші по фракціям, тобто час паузи повинен бути мінімально допустимим та встановленим для кожної робочої суміші експериментально.

Далі вводять алгоритм та програму руху ковша екскаватора до комп'ютера та вмикають джерела живлення, в результаті чого по обмотці збудження та якірної обмотці тече електричний струм та збуджується у лінійному двигуні електродинамічна сила $F_{ед}$, яка визначається по формулі:

$$F_{ед} = B \cdot I \cdot L,$$

де $F_{ед}$ – електродинамічна сила, Н;

B – індукція у робочому зазорі лінійного електричного двигуна, Тл.;

L – довжина якірної обмотки, м.

Електродинамічна сила $F_{ед}$ приводить у рух якорь, вибираючи при цьому люфти та зазори, ймовірність яких можлива після переміщення рухомих частин комплексу під час його налаштування в ручному режимі.

Далі процес може виконуватись в автоматичному режимі та для його реалізації послідовно вмикають комп'ютер та два джерела живлення. При цьому сила струму, яка живить двигун зворотно-качальних переміщень ковша реєструється лічильником та його показники передаються до комп'ютеру, де обробляються за заданою програмою та виводяться на екран чи друк.

При наявності електричного струму у ланцюгу живлення соленоїда з'являється магнітне поле, напруженість якого заздалегідь обрана відповідної величини, щоб робоча суміш придбала необхідні фізико-механічні властивості відповідно умовам експерименту.

Випробуваний на знос ковш, проходячи за траєкторією АВС (рис. 2) через робочу суміш, виконує роботу з подолання сил опору ґрунта копанню, пропорційно якій реєструється витрата електроенергії лічильником та відповідно комп'ютером.

Ковш, доходячи до точки С, вже в автоматичному режимі втягується в зону точки Д, в якій програмно відбувається реверс зворотного-качальних рухів та ковш за траєкторією DEF опиняється в вихідному положенні, тобто у точці F.

Під час переміщенні ковша з точки С до точки Д відбувається наступне явище. Оскільки у точці Д напруженість магнітного поля мала (так закладено конструктивно), робоча суміш, що наповнює порожнину ковша, переходить до квазірідкого стану та напротязі руху ковша з точки Д до точки F відбувається звільнення порожнини ковша від робочої суміші.

Під час переходу ковша з точки С до точки F програмно вмикається одне джерело та, із заданою затримкою часу, вмикається імпульсне джерело живлення соленоїду, що призводить до генерації змінного поля у магнітній системі та перемішуванню робочої суміші до вихідного стану, тобто зникненню сліду копання та вирівнюванню її поверхні, після чого імпульсивне джерело вмикається, та знов, із заданою затримкою часу вмикається джерело постійного струму та магнітна система соленоїда відновлює фізико-механічні властивості робочої суміші. Надалі процес повторюється в автоматичному режимі.

Слід акцентувати особливу увагу на необхідності ретельного відпрацювання та синхронізації усіх функціональних переміщень ковша із часом поперемінного вмикання та вимкнення двох джерел живлення соленоїда, тобто його обмотка володіє деякою електричною інертністю пов'язаною із часом перехідних процесів об'єктивно властивих усім електричним ланцюгам.

При виконанні цієї умови гнучкопереналагоджуваний триботехнічний комплекс може автоматично працювати у режимі, що дозволяє отримати результати випробувань безперервно та пришвидшено у будь-якому, заданому програмою темпі.

ВИСНОВКИ

Загально відомі недоліки усунуті у зазначеному винаході, що забезпечується ємністю, в яку разом з досліджуваним ґрунтом поміщена магнітна рідина, що має властивість змінювати свою в'язкість, аж до затвердіння в магнітному полі залежно від напруженості останнього, випробуваний робочий орган, що переміщається в суміші ґрунту з магнітною рідиною, виконує функціональні рухи, що імітують переміщення робочого органу реальної технологічної машини.

Таким чином розв'язуються декілька проблемних питань, актуальних при створенні нових конструкцій землерийних та ґрунтообробних машин, а саме :

1. Оптимізація конструктивних варіантів робочих органів вищевказаних машин, що призначені для роботи зі всілякими ґрунтами, що мають широкий різновид їх фізико-механічних властивостей, що залежать не тільки від конкретних геологічних умов експлуатації машини але й від пори року, погодних умов та ін.
2. Визначення в експрес режимі, раціональних способів та властивостей нанесених захисних покриттів на окремі елементи робочих органів вищевказаних машин.
3. Встановлення характеру, властивостей та варіантів оптимальної геометрії захисних покриттів що наносяться.
4. Отримання, в найкоротший термін, достовірних результатів і необхідних рекомендацій по проектуванню нових конструкцій робочих органів машин, що працюють в режимі мінімально витрачаємої енергії та здійснені корисної роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Пелевін Л.Є. Дослідження руху частинок ґрунту по ґрунтовиносним лопаткам робочих органів динамічної дії / Л. Є. Пелевін, А. В. Азенко, Є. В. Горбатюк // Автомобільний транспорт: збірник наукових праць. – Харків: ХНАДУ, 2019. – Вип. 44. – С. 87-91.

2. Горбатюк Є. Дослідження робочих органів землерийних машин безперервної дії / Є. Горбатюк, Л. Пелевін, О. Терентьєв, А. Свідерський // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2021. №98. – С. 45-54.

3. Тетерятник О. Аналіз конструкцій та концепції розвитку компактного екскаваторного обладнання / О. Тетерятник, О. Костенюк, А. Фомін // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2019. №92. – С. 56-62.

4. Nadutyi V. Analysis of the integrated dewatering of fine fractions of granite / V. Nadutyi, V. Chelyschkina, S. Kostyrya // Underwater Technologies, Iss. 03, - 2016. – P. 41-46.

- 5.Гедюн, В. А. Проектування екскаваторного робочого обладнання підвищеної планувальної здібності : кваліфікаційна робота бакалавра : 133 Галузеве машинобудування / Гедюн Владислав Аркадійович. – Харків : ХНАДУ, 2024. – 88 с.
- 6.Здобицький А.Я. Однекішшеві екскаватори: навчальний посібник / А. Я. Здобицький, З. З. Вантух, Д. В. Кузенко – Львів ЛЦ ДСЗ, 2017. – 147 с.
- 7.Будівельна техніка. Підручник / Сукач М.К. Вид. Ліра – К. 2020. – 390 с.
- 8.Кушнарев А. Стенд для імітаційного моделювання процесу взаємодії «робочий орган-почва» / Кушнарев А., Кравчук В., Шустик Л., Іваненко І., Мазурик Л., Маринин С. // Метода досліджень і вимірювані прилади: Науково-виробничий журнал Техніка і технологія АПК. – 2010.№4 (7). – С. 40-42.
- 9.Пат. 155959 Україна, МПК G01N 3/56. Мехатронний триботехнічний комплекс / Гушин А. М., Гушин С. А., Бондаренко А. Є., Бензар А. М., Целікова А. С.; № u202301363 ; заявл. 31.03.23 ; опубл. 24.04.24, Бюл. № 17. 9 с.

REFERENCES

- 1.Pelevin L.Ye. Doslidzhennya ruhu chastinok gruntu po gruntovinosnim lopatkam robochih organiv dinamichnoyi diyi / L. Ye. Pelevin, A. V. Azenko, Ye. V. Gorbatyuk // Avtomobilnij transport: zbirnik naukovih prac. – Harkiv: HNADU, 2019. – Vip. 44. – 87-91.
- 2.Gorbatyuk Ye. Doslidzhennya robochih organiv zemlenijnih mashin bezperervnoyi diyi / Ye. Gorbatyuk, L. Pelevin, O. Terentyev, A. Sviderskij // Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini. – 2021. №98. – 45-54.
- 3.Teteryatnik O. Analiz konstrukcij ta koncepciji rozvitku kompaktnogo ekskavacijnogo obladdannya / O. Teteryatnik, O. Kostenyuk, A. Fomin // Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini. – 2019. №92. – 56-62.
- 4.Nadutyi V. Analysis of the integrated dewatering of fine fractions of granite / V. Nadutyi, V. Chelyschkina, S. Kostyrya // Underwater Technologies, Iss. 03, - 2016. – 41-46.
- 5.Gedyun, V. A. Proyektuvannya ekskavatornogo robochogo obladdannya pidvishenoyi planuvальноyи zdibnosti : kvalifikacijna robota bakalavra : 133 Galuzeve mashinobuduvannya / Gedyun Vladislav Arkadijovich. – Harkiv : HNADU, 2024. – 88.
- 6.Zdobickij A.Ya. Odnokivshevi ekskavatori: navchalnij posibnik / A. Ya. Zdobickij, Z. Z. Vantuh, D. V. Kuzenko – Lviv LC DSZ, 2017. – 147.
- 7.Budivelna tehnika. Pidruchnik / Sukach M.K. Vid. Lira – K. 2020. – 390.
- 8.Kushnarev A. Stend dlya imitacionnogo modelirovaniya processa vzaimodejstviya «rabochij organ-pochva» / Kushnarev A., Kravchuk V., Shustik L., Ivanenko I., Mazurik L., Marinin S. // Metoda doslidzhen i vimiryuvani priladi: Naukovo-virobnichij zhurnal Tehnika i tehnologiya APK. – 2010.№4 (7). – 40-42.
- 9.Pat. 155959 Ukrayina, MPK G01N 3/56. Mehatronnij tribotekhnichnij kompleks / Gushin A. M., Gushin S. A., Bondarenko A. Ye., Benzar A. M., Celikova A. S.; № u202301363 ; zayavl. 31.03.23 ; opubl. 24.04.24, Byul. № 17. 9.

A. Tselikova, I. Bolokan, K. Nadiieva. Design of working bodies of earth machinery with the help of a flexibly adjustable tribotechnical complex

In recent decades, the problem of the lack of prediction of wear and tear of working equipment in earthmoving machines has become increasingly common. It is this group of machines that performs the most time-consuming work, and their productivity directly depends on the soils in which they work. To solve this issue, the authors suggest using a model of a flexibly adjustable tribotechnical complex with computer control, for modeling the process of the work of technological machines during their long-term operation in conditions imitating real ones, in order to establish, already at the design stage, optimal structural parameters of working bodies, as well as economically feasible terms of their service according to energy saving criteria.

The developed complex simulates the physical and mechanical properties of specific types of soil in a container that is filled with a mixture consisting of a solid and liquid substance, which is a magnetic fluid, the viscosity of which varies in a magnetic field in a very wide range. In this way, a working environment is formed that can change its physical and mechanical properties depending on the intensity of the magnetic field affecting this mixture. With the help of this complex, it is also possible to determine the rational method and properties of applying protective coatings to individual elements of the working bodies of earthmoving machines.

The technical system organized in this way, which simulates the operation of the working equipment of the earthmoving machine in various natural conditions, provides for the continuous fixation and memorization of energy consumption depending on the design features and the actual wear and tear of the working equipment, which allows, in the express mode, to obtain almost all initial data for the design of working bodies, new generations, for earthmoving equipment, working with minimal energy consumption when extracting minerals or carrying out construction work.

Keywords: tribotechnical complex, computer control, working equipment of the earthmoving machine, solenoid, power source.

ЦЕЛІКОВА Аліна Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування, Одеська державна академія будівництва та архітектури, e-mail: tselikovaa93@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1394-3986>.

БОЛОКАН Іван Георгійович, старший викладач кафедри машинобудування, Одеська державна академія будівництва та архітектури, e-mail: ivanbolokan0910@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8815-6346>.

НАДЄЄВА Катерина Володимирівна, спеціаліст II категорії, вчитель фізики, інформатики та астрономії Херсонського багатопрофільного ліцею №20, e-mail: katerina8nadeeva@gmail.com

Alina TSELIKOVA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: tselikovaa93@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1394-3986>.

Ivan BOLOKAN, assistant of the Department of Mechanical Engineering, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: ivanbolokan0910@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8815-6346>.

Kateryna NADIEIEVA, specialist of the 2nd category, teacher of physics and astronomy, computer science Kherson Polytechnic Lyceum No. 20, e-mail: katerina8nadeeva@gmail.com

DOI 10.36910/automash.v2i23.1523