

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**кваліфікаційної роботи**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»  
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

**на тему «Підвищення продуктивності завантаження екскаватора  
ЕКГ-10»**

Здобувач



Олесь САМОХІН

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі автоматизації, електро- та робототехнічних систем.

Керівник:



Голотюк Микола Віталійович,  
канд. техн. наук, доцент,  
доцент

Захист відбудеться 24 січня 2024 р. о 10:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting\\_OTI1Y2M4ODktYjUyNi00ZGZkLWE0YWEtMWQxZDc4Njc4ZDdk%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d](https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_OTI1Y2M4ODktYjUyNi00ZGZkLWE0YWEtMWQxZDc4Njc4ZDdk%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 20 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Актуальність теми визначається наступними факторами:

- Знос зубів ковшів екскаваторів є однією з основних причин простоїв технологічного обладнання на кар'єрі.
- Заміну зубів екскаваторів зазвичай проводять позапланово, що призводить до додаткових витрат і втрати продуктивності.
- Відламані зуби ковшів можуть потрапляти до дробильної фабрики, що призводить до її пошкодження і простоїв.

**Постановка проблеми.** Зношування зубів ковшів екскаваторів контролюється візуально. Цей метод є неефективним, оскільки він не дозволяє своєчасно виявляти зношування зубів.

Для вирішення цієї проблеми можна застосувати систему автоматизованого контролю зносу зубів ковшів. Така система повинна включати в себе наступні елементи:

- Датчики, які будуть вимірювати зношування зубів.
- Камеру, яка буде фотографувати ковші екскаваторів.
- Систему штучного інтелекту, яка буде аналізувати дані з датчиків і камери і визначати ступінь зносу зубів.

**Мета дослідження.** Розробка системи автоматизованого контролю зносу зубів ковшів екскаваторів з метою своєчасного виявлення та запобігання позапланованим простоям технологічного обладнання.

### **Задачі дослідження:**

- Проаналізувати існуючі методи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.
- Вибрати оптимальні датчики, камеру та систему штучного інтелекту для автоматизованої системи контролю зносу зубів.
- Розробити алгоритм роботи автоматизованої системи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.
- Провести експериментальні дослідження системи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.

**Об'єкт дослідження** – Об'єктом дослідження даної роботи є процес завантаження руди екскаваторами у кар'єрах, зокрема, проблема зносу зубів ковшів екскаваторів.

**Предмет дослідження** – Предметом дослідження є процес видобутку залізної руди, зосереджений на аспектах зносу зубів ковшів екскаваторів та його впливу на продуктивність технологічного обладнання.

### **Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності.**

Результати вивчення показали, що контроль зношування зубів на основі зображень, використовуючи спеціально розроблену

систему з камерою на стрілі екскаватора, є інноваційним та ефективним методом. Порівняно з традиційними методами, які вимагають фізичного виміру довжини кожного зуба, запропонована система усуває необхідність у трудомістких ручних вимірах, забезпечуючи постійний контроль і розрахунок термінів планових замін. Розпізнавання ріжучої частини зубів та опорних точок всередині ковша для розрахунку довжини і зносу робочого обладнання є складним завданням, проте система на основі штучного інтелекту виявила високу точність в роботі з відеозображеннями, що підтверджено результатами порівняння з фізичними вимірами. Запропонована технологія не лише збільшує ефективність процесу контролю зношування, але й може використовуватися для обробки великої кількості зображень, що забезпечує більш точні та економічно ефективні результати.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок, робота містить 38 рисунків, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 11 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Для постійного збільшення об'ємів капітального будівництва і підвищення технічного рівня будівельного виробництва потрібно постійно удосконалювати механізацію будівельно-монтажних робіт. Одним з головних видів будівельно-монтажних робіт є земляні роботи, в піднятті рівня механізації яких, вагому роль відіграють землерийні машини.

Науково-технічний прогрес у будівництві та меліорації визначається технічним станом застосовуваних машин й ефективністю їх експлуатації.

В будівництві, гідромеліорації, на відкритих гірничих розробках масові земляні роботи займають одне з провідних місць.

В умовах сучасного виробництва створення будівельного і дорожнього машинобудування України особливу актуальність має питання розробок і впровадження у виробництво високоефективних, надійних і конкурентоздатних машин власного виробництва. Значну частку з них складають машини для земляних робіт, зокрема одноківшеві екскаватори.

Машини для земляних робіт, а саме екскаватори є одними із основних видів машин, за допомогою яких здійснюється комплексна механізація в будівництві, на відкритих розробках корисних копалин,

у промисловості будівельних матеріалів, вугільної промисловості та інших галузей народного господарства.

Важливим завданням у покращенні якості роботи одноковшових екскаваторів є зниження їхньої енергоємності. Це завдання постійно вирішується шляхом удосконалення принципів взаємодії робочих органів із ґрунтом – більш широкого застосування вібраційного і віброударного, фізико-хімічного і термічного впливу на ґрунт і удосконалення конструкцій робочих органів для зменшення сил опору ґрунту відділенню його від масиву, переміщенню його в робочий орган і транспортуванню, а також шляхом підвищення ККД механізмів приводів робочих органів і т.п..

Завдання магістерської роботи є дослідження робочих органів одноковшових екскаваторів, а саме ковшів, існуючих методів контролю зносу зубів ковшів екскаваторів. Мета дослідження полягає в знаходженні раціональної форми і конструкції ковша, яка дозволить знизити енергоємність процесу копання ґрунту, а також провести експериментальні дослідження системи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів, що забезпечить більший коефіцієнт наповнення робочого органу у порівнянні з прототипами, універсальність застосування при розробці різних категорій ґрунтів, гірських порід.

В зв'язку з цим робота, в основу якої покладено дослідження ефективних конструкцій робочих органів одноковшових екскаваторів є актуальною і відповідає сучасним вимогам будівельного і дорожнього машинобудування.

Проведено аналіз чинних досліджень з питань використання системи контролю зубів екскаваторних для вирішення виробничих проблем, що дало можливість довести перспективність їхнього застосування, зокрема для добутку руди екскаваторами у гірничодобувній галузі.

Теоретичними результатами роботи є: класифікація екскаваторів, ковшів екскаваторних, яка базується на засадах системного аналізу їхніх конструкцій та характеристик; аналітичний огляд сучасної системи контролю зносу зубів екскаваторних для виконання робіт по добувці руди у кар'єрах.

Для проведення дослідження були використаний математичний метод та практичний метод отримання результатів які вказують на необхідність покращення існуючих методів контролю ступеня стирання зубів та їх наявності.

Основні результати, отримані в роботі:

- обґрунтовано модель системи контролю зубів екскаваторних із прийнятим основним критерієм – контроль зносу зубів та сповіщення оператора;

- запропоновано використання системи контролю зубів Shovel Metrics в якості експериментальних досліджень;

- на основі системного аналізу сформовано перелік основних вимог до системи контролю зубів екскаваторних в гірничій галузі;

В результаті проведення досліджень ринку систем контролю зносу зубів екскаваторних із застосуванням методу експертного оцінювання рекомендовано до використання оптимальну модель систему контролю зубів екскаваторних Shovel Metrics, так як її ключові параметри максимально відповідають необхідним вимогам щодо контролю зносу та наявності зубів екскаваторних.

ShovelMetrics використовує Штучний Інтелект та комп'ютерний 3D-зір для контролю відсутності та зносу зубів, контролю корисного навантаження, визначення грануло метричного складу, і навіть виявлення небезпечного зближення. Виявлення відсутності зубів для екскаваторів всіх типів знижує ймовірність простою дробарок, забезпечуючи безпеку працівників та запобігання виробничих втрат у розмірі сотень тисяч доларів. Система ShovelMetrics, якій довіряють найбільші світові гірничодобувні підприємства, встановлена на понад 70 об'єктах та шести континентах – від пустелі Атакама до Північного полярного кола.

## ВИСНОВКИ

Під час розробки дипломної роботи на підприємстві гірничодобувної галузі було виявлено проблему, яка призводить до значних економічних втрат. Ця проблема полягає в неплановій заміні зубів екскаваторних, а також в їх попаданні до дробильної фабрики.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано впровадити систему контролю та оповіщення стану зубів екскаваторних в реальному часі. Ця система дозволить працівникам своєчасно оцінити стан зубів і вжити заходів для їх заміни, що запобігатиме простоям обладнання і економії грошей та часу.

Одним із варіантів реалізації цієї системи є встановлення на екскаватори обладнання по типу Shovel Metrics або аналогічні існуючі на ринку. Це обладнання дозволяє отримувати інформацію про стан зубів екскаваторних за допомогою датчиків, встановлених на ківші екскаватора.

Іншим варіантом є розробка системи самостійно. Для цього необхідно встановити на стрілу екскаватора камеру-датчик, розробити програмний код зчитування з картини і систему оповіщення.

Впровадження системи контролю та оповіщення стану зубів екскаваторних в реальному часі дозволить вирішити проблему позапланової заміни зубів екскаваторних та їх попадання до дробильної фабрики. Це призведе до значних економічних вигод для підприємства, а саме:

- Зменшення кількості простоїв обладнання;
- Зменшення витрат на непланову заміну зубів екскаваторних;
- Зменшення ймовірності попадання зубів екскаваторних до дробильної фабрики.

Отже, під час розробки дипломної роботи було виявлено проблему, яка призводить до значних економічних втрат. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано впровадити систему контролю та оповіщення стану зубів екскаваторних в реальному часі. Впровадження цієї системи дозволить вирішити проблему і призведе до значних економічних вигод для підприємства.

У цій роботі представлено рішення контролю ковша екскаватора ShovelMetrics™ зі штучним інтелектом на основі глибоких нейронних мереж для отримання точних і практично застосовних даних. Воно оснащено особливо міцним камерою, спрямованою на ківш екскаватора, з екраном у кабіні, що забезпечує оновлення інформації про стан у режимі реального часу. Нейронна мережа діє як класифікатор пікселів та надає мітку кожному пікселю на зображенні ковша екскаватора. Даний класифікатор у поєднанні з подальшою обробкою забезпечує комплексне рішення для контролю, що дозволяє виявляти відсутність зубів, відстежувати їх зношування та визначати фрагментацію.

Ця нова архітектура глибокої нейронної мережі замінює колишній алгоритм, який використовував традиційні методи комп'ютерного зору для отримання інформації із вхідних відеокадрів при забезпеченні зазначених функцій виробу. Як і всі рішення для глибокого навчання, ShovelMetrics™ удосконалюватиметься лише за наявності великих наборів навчальних даних.

Екскаватори, як правило, стоять на самому початку процесу вантажних робіт, і, як наслідок, будь-які зміни у продуктивності можуть стати початком ланцюгової реакції для наступних технологічних процесів та ефективності. Завдяки ретельному контролю цього обладнання за допомогою такої системи, як ShovelMetrics™, можна звести до мінімуму позапланові простої та зниження виробництва.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Голотюк М.В., Налобіна О.О., Бундза О.З., Самохін О.В. Підвищення продуктивності завантаження екскаватора / VI International scientific and practical conference «The aspects of contemporary scientific research that encompass both theoretical and

practical components» (January 10-12, 2024) Venice, Italy, International Scientific Unity. 2024. 386 p.– 350-352 c.

<https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/01/The-aspects-of-contemporary-scientific-research-Jan-10-12-2024-Venice-Italy.pdf>

## АНОТАЦІЯ

Самохін Олесь Валерійович. Підвищення продуктивності завантаження екскаватора ЕКГ-10. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження даної роботи є процес завантаження руди екскаваторами у кар'єрах, зокрема, проблема зносу зубів ковшів екскаваторів.

Предметом дослідження є процес видобутку залізної руди, зосереджений на аспектах зносу зубів ковшів екскаваторів та його впливу на продуктивність технологічного обладнання.

Мета та завдання. Розробка системи автоматизованого контролю зносу зубів ковшів екскаваторів з метою своєчасного виявлення та запобігання позапланованим простоям технологічного обладнання.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі методи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.

2. Вибрати оптимальні датчики, камеру та систему штучного інтелекту для автоматизованої системи контролю зносу зубів.

3. Розробити алгоритм роботи автоматизованої системи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.

4. Провести експериментальні дослідження системи контролю зносу зубів ковшів екскаваторів.

У першому розділі досліджено однокішіві екскаватори як самохідні землерийні машини циклічної дії з ківшем в якості робочого органу. Визначено класифікацію екскаваторів за різними параметрами, зокрема за типом силової передачі, призначенням, числом встановлених двигунів та типом привода. Зазначено різновиди робочого обладнання, такі як "зворотна лопата", "пряма лопата", крюкова підвіска, навантажувальний ківш, грейфер. Детально розглянуто робочий орган - ківш, його конструкцію та різні варіанти для різних видів робіт, включаючи пряму лопату,

навантажувальний ківш, гратчастий ківш та інші. У розділі також надано інформацію про різновиди зубів та їх вплив на ефективність екскаваційних робіт. Додатково досліджено питання вдосконалення конструкцій робочих органів для підвищення продуктивності та зниження собівартості робіт, з урахуванням різних конструктивних рішень для оптимізації робочих органів та зменшення витрат на виконання земляних робіт.

У другому розділі дипломної роботи розглядаються теоретичні основи дослідження, які використовуються в дипломній роботі. На основі проведеного аналізу встановлено, що опір впровадженню ковша в ґрунт є важливим фактором, що обмежує продуктивність екскаваторів. Зниження енергоємності процесу впровадження ковша є важливим завданням, яке необхідно вирішити для підвищення продуктивності екскаваторів.

У третьому розділі дипломної роботи детально проаналізовано експериментальні дослідження ефективності системи контролю стану зубів екскаватора Shovel Metrics. Виявлено, що система надзвичайно ефективно виявляє відсутність та ступінь зносу зубів в реальному часі, надаючи можливість оперативно реагувати на потенційні проблеми. Порівняно з існуючими методами контролю, такими як карантинна зона та планова заміна, система Shovel Metrics демонструє вищу точність та ефективність. Матеріал розділу систематично викладено, враховуючи теоретичні положення та висновки з проведених досліджень, що дозволяє зробити обґрунтовані висновки та рекомендації для подальшого вдосконалення системи контролю зубів екскаватора.

У четвертому розділі дипломної роботи проведено економічні розрахунки втрат, пов'язаних з неплановою заміною зубів екскаваторних та попаданням їх до дробильної фабрики. Визначено, що загальні втрати у 2023 році склали 6356577,04 грн., що і є економічним ефектом при впровадженні системи контролю зубів екскаваторних.

Ключові слова: екскаватор, зуби екскаватора, система контролю втрати зубів, контроль зносу зубів, простої обладнання, ризики, аварії, відсутність зубів, відеоспостереження, технічне обслуговування, безпека праці, попередження травм, віддалений доступ, миттєве виявлення, відео реєстрація подій, алгоритм глибокого навчання, виявлення відсутності зубів, безпека, штучний інтелект, обробка зображень.

Кваліфікаційна робота має 59 сторінок, 38 ілюстрацій, 5 таблиць, 3 додатки, та 11 джерел у переліку посилань.

Ключові слова: екскаватор, зуби екскаватора, система контролю, втрати зубів, знос зубів, безпека, простої обладнання, ризики, аварії, відсутність зубів, відеоспостереження, технічне

обслуговування, безпека праці, попередження травм, робоча поверхня, ступінь стирання, планова заміна, віддалений доступ, миттєве виявлення, відео реєстрація подій, ShovelMetrics, алгоритм глибокого навчання, виявлення відсутності зубів, контроль зносу, безпека, гірничодобувні підприємств економія витрат, штучний інтелект, обробка зображень, плавні криві, присвоєння міток, результативність, робота на великій кількості машин.

## ABSTRACT

Samokhin Oles. Increasing the loading capacity of an EKG-10 excavator. - Qualifying work on the rights of the manuscript.

Theses for a Master's degree in Mechanical trades, the specialty 133 "Mechanical trades", Educational Program "Computer-Aided Design of Mechatronic Systems", TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNICS", LLC, Kryvyi Rih, 2024.

The object of this work is the process of loading ore by excavators in quarries, specifically the problem of tooth wear on excavator buckets.

The subject of the research is the process of iron ore extraction, focusing on the aspects of wear on excavator bucket teeth and its impact on the productivity of technological equipment.

Objective and tasks: Development of an automated wear control system for excavator bucket teeth to timely detect and prevent unplanned downtime of technological equipment.

Research tasks:

1. Analyze existing methods of controlling wear on excavator bucket teeth.
2. Select optimal sensors, cameras, and artificial intelligence system for the automated wear control system.
3. Develop an algorithm for the operation of the automated wear control system for excavator bucket teeth.
4. Conduct experimental research on the system for controlling wear on excavator bucket teeth.

In the first section, single-bucket excavators are studied as self-propelled earthmoving machines with a bucket as the working tool. Classification of excavators based on various parameters is determined, including power transmission type, purpose, number of installed engines, and drive type. Various types of working equipment, such as "backhoe," "shovel," hook suspension, loading bucket, grab, are mentioned. The working tool - the bucket, its construction, and different variants for various types of work, including the shovel, loading bucket, gridded bucket, and others, are detailed. The section also provides information on types of teeth and their impact on the efficiency of excavation work. Additional research focuses on improving the design of working tools to increase

productivity and reduce the cost of work, considering various design solutions to optimize working tools and reduce costs for earthmoving.

The second section of the thesis examines the theoretical foundations used in the research. Based on the analysis, it is established that the resistance to bucket penetration into the ground is a significant factor limiting the productivity of excavators. Reducing the energy consumption of the bucket penetration process is an important task that needs to be addressed to increase excavator productivity.

The third section of the thesis thoroughly analyzes experimental studies on the effectiveness of the Shovel Metrics excavator tooth condition monitoring system. It is found that the system efficiently detects the absence and degree of wear of teeth in real-time, allowing for prompt response to potential issues. Compared to existing control methods such as quarantine zones and planned replacement, the Shovel Metrics system demonstrates higher accuracy and efficiency. The section systematically presents the material, taking into account theoretical positions and conclusions from the conducted research, allowing for well-founded conclusions and recommendations for further improvement of the excavator tooth control system.

The fourth section of the thesis conducts economic calculations of losses related to unplanned replacement of excavator teeth and their entry into the crushing plant. It is determined that the total losses in 2023 amounted to 6,356,577.04 UAH, which is the economic effect of implementing the excavator tooth control system.

Keywords: excavator, excavator teeth, tooth loss control system, wear control, equipment downtime, risks, accidents, tooth absence, video surveillance, technical maintenance, occupational safety, injury prevention, remote access, instant detection, video event recording, deep learning algorithm, tooth absence detection, safety, artificial intelligence, image processing.

The master's thesis comprises 59 pages, 38 illustrations, 5 tables, 3 appendices, and includes 11 references.

Keywords: excavator, excavator teeth, control system, tooth losses, tooth wear, safety, equipment downtime, risks, accidents, missing teeth, video surveillance, maintenance, workplace safety, injury prevention, working surface, wear degree, planned replacement, remote access, instant detection, video event recording, ShovelMetrics, deep learning algorithm, absence detection, wear control, safety, mining enterprises, cost savings, artificial intelligence, image processing, smooth curves, label assignment, performance, operation on a large number of machines.