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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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»

Керівник роботи — Микола ГОЛОТЮК

Консультант від бази практики — Олександр НІКОНОВ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач — Олесь Самохін

Підсумкова оцінка за атестацію			

Голова ЕК — Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
ОПП	Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП
_____Світлана ГУРКОВСЬКА
«03» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Самохіну Олесеві Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Підвищення продуктивності завантаження екскаватора ЕКГ-10
керівник роботи Голотюк Микола Віталійович, доцент, кандидат техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи *10.01.2024 р.*
3. Вихідні дані до роботи *Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані гірничо-збагачувального комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо*
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) *Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (Призначення, класифікація і конструкція прототипів. Основні тенденції розвитку робочих органів одноківшевих екскаваторів). 2. Теоретичні дослідження (Оцінка впливу кута нахилу поверхні забою δ на вибір форми ковша і показник ефективності процесу копання. Визначення раціональної ширини ковша B і радіуса траєкторії руху різальної кромки ковша R при копанні поворотом ковша щодо рукояті). 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки*
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): *Екскаватор ЕКГ-10. Технологічний процес виконання робіт екскаватором ЕКГ-10. Представлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень.*

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
2	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
3	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
4	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС

7. Дата видачі завдання *03.11.2023*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.204 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач (Самохін Олесь Валерійович)

Керівник роботи (Голотюк Микола Віталійович)

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 одноківшеві 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 грунт 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.

Апробація результатів:

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.

2. Ковалевець Р., Самохін О. Модернізація процесу завантаження шарового млина подрібнюючим матеріалом (кулями) / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 126-127 с.

https://drive.google.com/file/d/1gGkiePbgUvzfEo5jYa0BemeTBKYxkA4a/view

Зміст

Вступ 7
Розділ 1. Аналіз предметної області 9
1.1 Призначення, класифікація і конструкція прототипів 9
1.2 Основні тенденції розвитку робочих органів одноківшевих екскаваторів 19
Розділ 2. Теоретичні дослідження 26
2.1 Оцінка впливу кута нахилу поверхні забою δ на вибір форми ковша і показник ефективності процесу копання 36
2.2 Визначення раціональної ширини ковша B і радіуса траєкторії руху різальної кромки ковша R при копанні поворотом ковша щодо рукояті 40
Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень 47
3.1 Мета та методи експериментальних досліджень 47
3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання 47
3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки 51
3.4 Виявлення відсутності зубів 53
3.5 Контроль зношування зубів 54
3.6 Витягання особливих точок за допомогою Shovelmetrics™ - традиційні методики комп'ютерного зору порівняно з глибоким навчанням 57
РОЗДІЛ 4. Розділ з економіки 59
4.1 Економічні розрахунки непланових простоїв технологічного обладнання 59
4.2 Розрахунок економічних втрат при неплановій заміні зубів екскаваторних 59
4.3 Розрахунок економічних втрат при попаданні зубів екскаваторних до дробильної фабрики 60
Висновки 62
Література 64
Додатки 65

Вступ

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 одноківшевих 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 грунт 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 одноківшевих екскаваторів, а саме ковшів. Мета дослідження полягає в знаходженні раціональної форми і конструкції ковша, яка дозволить знизити енергоємність процесу копання грунту, а також забезпечить більший коефіцієнт наповнення робочого органу у порівнянні з прототипами, універсальність застосування при розробці різних категорій грунтів, гірських порід.

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

Розділ 1. Аналіз предметної області.

1.1 Призначення, класифікація і конструкція прототипів.

Для підвищення ефективності робіт в будівництві необхідно застосовувати високопродуктивні і надійні машини. Однією з найбільш універсальних машин для земляних робіт являється одноківшевий екскаватор. На даний час в Україні одноківшеві екскаватори практично не випускаються, так як основні підприємства по їх випуску залишились на території близького зарубіжжя, тому в будівельних, меліоративних, гірничодобувних організаціях і сільському господарстві залишились екскаватори, які випускалися раніше, і промисловості ще прийдеться засвоїти їх випуск [1].

Одноківшевим екскаватором називають самохідну землерийну машину циклічної дії, робочим органом якої є ківш і призначену для копання та переміщення грунту з послідуючим розвантаженням його в відвал чи транспортні засоби. Екскаватори класифікують по різним параметрам. Одним з таких параметрів є тип силової передачі руху двигуна до робочих механізмів. Розрізняють механічні і гідравлічні приводи екскаваторів. В гідравлічних приводах, роль трансмісії виконують гідронасос (один або декілька), трубопроводи, гідродвигуни (гідромотори або гідроциліндри). В трубопроводах циркулює робоча рідина, що передає енергію насосів до гідродвигунів, які приводять в рух робочі механізми. Гідравлічні екскаватори мають конструктивні, технологічні і економічні переваги в порівнянні з екскаваторами, де використовується механічний привід. Конструктивні і технологічні переваги здійснюються головним чином використанням гідравлічного приводу, для передачі потужності від двигуна робочим механізмом машини.

На гідравлічних екскаваторах найчастіше застосовують таке робоче обладнання: “зворотна лопата”, “пряма лопата”, крюкова підвіска, навантажувальний ківш, грейфер.

Одноківшеві екскаватори є землерийними машинами циклічної дії. Основна частина з них відноситься до універсальних машин. На них можна встановлювати обладнання для розробки грунту, підйому вантажів, забивання паль і виконання інших робіт. Незначна кількість їх працює тільки з одним видом робочого обладнання. В основному це машини великої потужності. За призначенням одноківшеві екскаватори бувають:

будівельні і будівельно-кар'єрні, з місткістю ковша 0,015-10 м3 і масою 0,25-250 т;

кар'єрні з ковшем місткістю 2-20 м3 і масою 40-900 т;

- розкривні з ковшем місткістю 4-160 м3 і масою 170-13000 т, призначені для видобування корисних копалин у гірничій промисловості і виконання земляних робіт великих об’ємів, наприклад, у гідротехнічному будівництві;

- тунельні і шахтні зі зменшеними розмірами робочого обладнання, з ковшем місткістю 0,5-1 м3 і масою 15-30 т, призначені для підземних робіт.

- За числом встановлених двигунів екскаватори бувають одно - та багатодвигуновими.

У першому випадку привод має один двигун і енергія від нього передається до елементів робочого обладнання і механізмам через декілька трансмісій, що розгалужуються. У другому випадку елементи робочого обладнання і механізми приводяться від декількох двигунів. Причому, якщо кожний робочий рух елементів обладнання або механізмів здійснюється від окремого двигуна, то екскаватор називають екскаватором з індивідуальним приводом. А якщо кожний з двигунів машини приводить в рух декілька її основних механізмів - екскаватором з груповим приводом [1,2,].

За типом привода розрізняють екскаватори з гідравлічним, гідромеханічним, електричним і змішаним приводами. Назва привода загалом відповідає типу передачі, що застосовується.

За ступенем рухливості поворотної частини екскаватори діляться на повноповоротні. Коли поворотна платформа відносно ходового обладнання може обертатися на 360°, і неповноповоротні.

За типом механізму пересування екскаватори поділяють на гусеничні, пневмоколісні, крокуючі, на спеціальному шасі, на базі трактора, автомобіля і плавучі. До екскаваторів на спеціальному шасі відносять машини, які мають колісний рушій автомобільного типу.

За типом підвіски робочого обладнання розрізняють екскаватори з жорсткою (гідравлічні) і гнучкою (канатні) підвіскою.

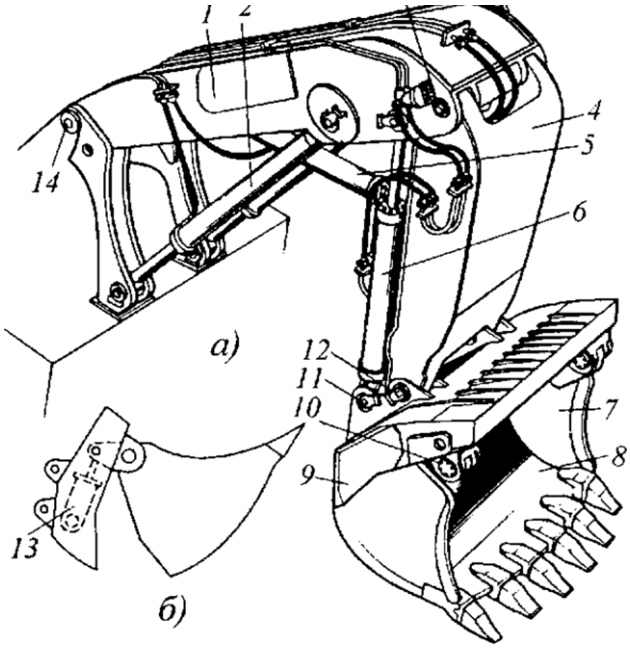
За видом робочого обладнання на будівельних екскаваторах застосовують робоче обладнання: пряма лопата, зворотна лопата, драглайн, планувальне, грейферне, кранове, копрове та інше. Крім цього кожний вид обладнання може розрізнятися в залежності від форми або призначення робочого органа. Будівельні екскаватори можуть бути укомплектовані робочим обладнанням і робочими органами до 30...35 видів.

Робоче обладнання пряма лопата (рис. 1.1.1) на будівельних гідравлічних екскаваторах не одержало широкого розповсюдження. Цей вид обладнання в основному застосовують на машинах з ковшем місткістю більше 1 м3. Обладнання пряма лопата складається зі стріли 1, рукояті 4 і ковша 7, зв'язаних між собою шарнірами з пальцями 3 і 12 і із платформою шарніром 14. Звичайно останній розташований високо над рівнем платформи, що необхідно для покращення робочих параметрів машини, згідно [1].

Елементи обладнання переміщують за допомогою гідроциліндрів 2, 5 і 6.

Довжина стріли прямої лопати значно менше довжини стріли зворотної лопати. На машинах зі складеними стрілами для прямої лопати використовують її основну частину. Верхня її частина при цьому служить

Рисунок 1.1.1 Робоче обладнання пряма лопата з щелепним ковшем:



Робоче обладнання пряма лопата з щелепним ковшем:
а - робоче обладнання ; б - схема кріплення гідроциліндра повороту ковша ; 1 - стріла; 2 - гідроциліндри повороту стріли; 3, 10, 11, 12 - пальці;4-рукоять; 5 - гідроциліндри повороту рукояті; 6 - гідроциліндр повороту ковша; 7 - бокова стінка ковша; 8 - козирок; 9 - щелепа; 13 - гідроциліндр повороту щелепи

як рукоять. При застосуванні для прямої лопати спеціальної стріли остання звичайно має прямо лінійну по довжині форму і виконується звареною з листового високоміцного прокату із установкою втулок у бічні стінки або в додатково приварені вушка до її полиць у місцях з'єднання із прилягаючими до неї елементами. На кінцях стріла має форму вилок із двома ріжками коробчастого перетину кожний і вушками.

Конструкція рукояті прямої лопати аналогічна конструкції стріли. Верхнім кінцем вона з'єднана зі стрілою, а нижнім - з ковшем. На рукояті в основному закріплений один з кінців гідроциліндрів повороту рукояті і ковша. Однак зустрічаються конструкції, де гідроциліндр повороту ковша з'єднаний не з рукояттю, а зі стрілою (рис. 1.1). Це робить положення ковша залежним відносно розташування стріли і рукояті, що трохи ускладнює керування машиною в процесі копання, однак дозволяє спростити

конструкцію рукояті і виконати її менших розмірів. Ковші при обладнанні машин прямою лопатою застосовують в основному трьох видів. Неповоротний ківш (рис. 1.2, а) застосовують для розробки ґрунтів всіх категорій, який складається з корпусу 1 і днища 2, пов'язаного з ним шарнірно за допомогою пальців 5, якими закінчуються поздовжні криволінійні ребра, приварені до нього зовні і надаючи йому потрібну міцність і жорсткість.

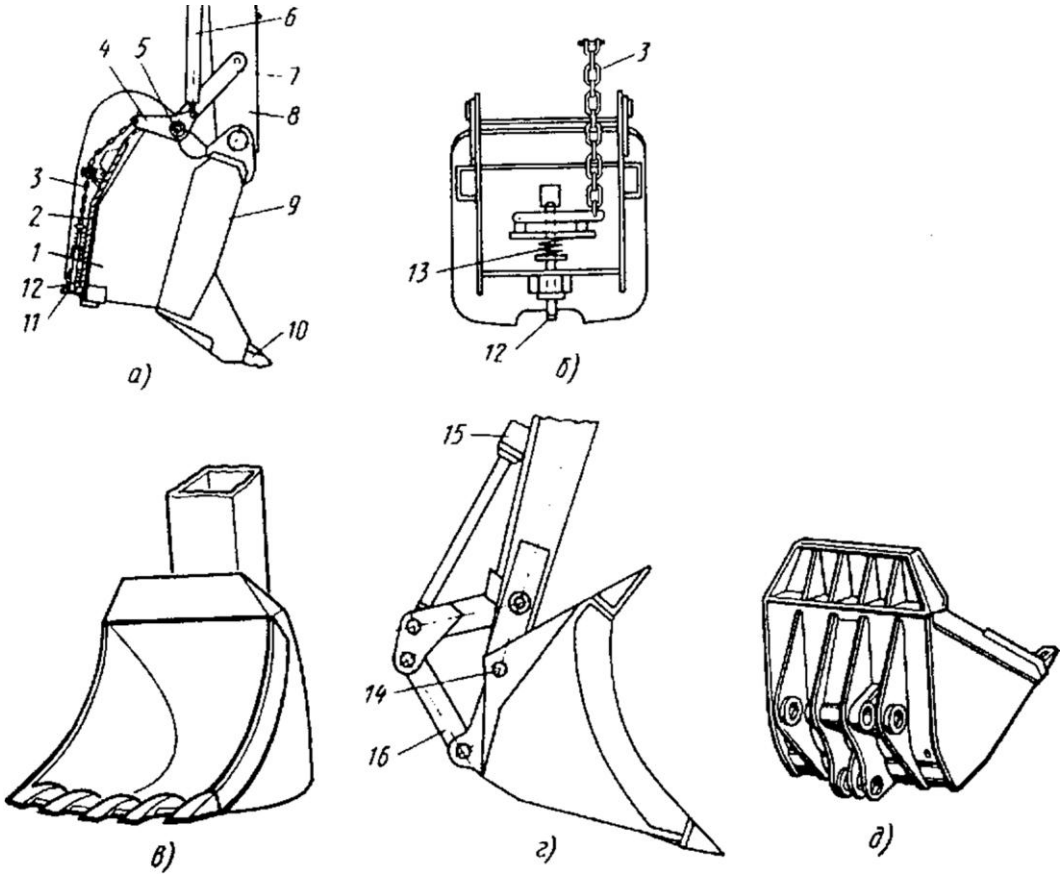
Корпус виготовляють із листового прокату і литих деталей, що з'єднують в основному зварюванням. Він має дві бічні і задню стінки, виконані з легованого металопрокату і посилений поверху поясами 9. Задня стінка крім цього іноді має кілька поперечних і поздовжніх ребер, частина з яких одночасно є вушками з увареними втулками, що служать для приєднання ковша за допомогою пальців і тяги 7 до рукояті 8 і навішування на ньому днища 2.

Передню стінку частіше роблять складеною. Нижня частина в ній листова, а верхня, приварена до неї, лита. Останню називають козирком. Це найбільш навантажена і зношувана частина ковша. її в основному відливають із марганцевистої сталі і роблять плоскою або криволінійною, виступаючою в середній частини назовні і вперед. Козирок закінчується спереду ріжучою крайкою (в основному при криволінійному виконанні) або несе зуби 10. Для установки їхній козирок має відлиті кармани, в які вставляють хвостовики зубів, або до нього приварюють гнуті елементи або корінь зуба за аналогією, як це робиться в ковшах зворотної лопати. Днище захлопується і утримується в закритому стані засувом 12 (рис. 1.2, б) під дією пружини 13 при переведенні ковша в положення для початку копання. Це досягається автоматично шляхом вибору положення пальців 5 на корпусі.

Для вивантаження грунту днище ковша відкривається за допомогою гідроциліндра 6. При висуванні його штока повертається двоплечий важіль 4, натягується ланцюг 3 і висмикується засувка 12 з петлі 11 передньої стінки. Після цього днище під дією власної ваги і ваги грунту в ковші повертається навколо пальця 5 і ґрунт висипається.

Поворотний ківш (рис. 1.1.2, *в*-д) являє собою цільнозварену конструкцію, що складається із плоских бічних стінок і криволінійних передньої і задньої стінок, виготовлених як одне ціле. Передня стінка у верхній частині приварена до литого козирка. Останній, як і у неповоротного ковша може бути із зубами. Зовні до передньої стінки прикріплені зварюванням поздовжні ребра. Вони в основному є продовженням зубів і служать для запобігання стінки від зношування. Задня стінка із зовнішньої сторони має пов'язані з нею поздовжні і поперечні ребра і смути. Вони збільшують міцність і жорсткість ковша. У поздовжні ребра вварені втулки. На цих ділянках вони виконують функції вушок для приєднання ковша до рукояті (пальцем 14) і закріплення на ньому тяг 16 для повороту його гідроциліндром 15 (рис. 1.2, д).

Рисунок 1.1.1 Неповоротний (а, б) і поворотний (в-д) ковші прямої лопати:

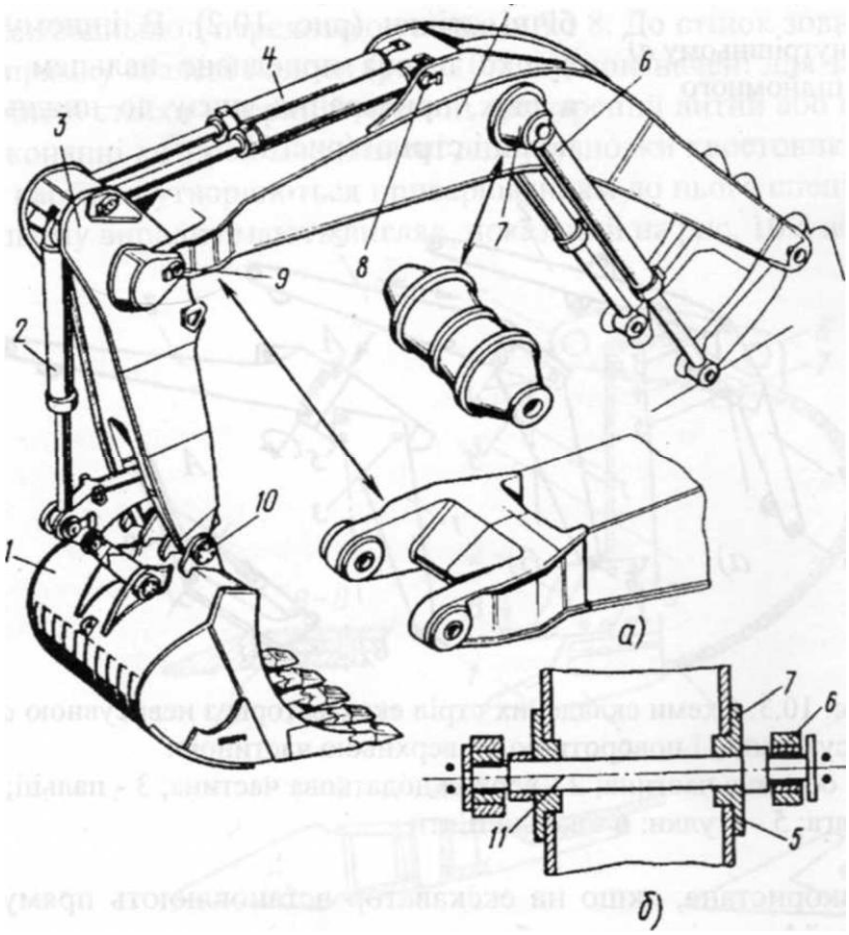


Неповоротний (а, б) і поворотний ***(в***-д) ковші прямої лопати:
1 - корпус; 2 - днище; 3 - ланцюг; 4 - двоплечий важіль; 5, 14 - пальці; 7 - тяга; 8 - рукоять; 9 - пояси; 10 - зуби; 11 - петля; 12 - засувка; 13 - пружина; 6, 15 - гідроциліндри; 16 - тяга

На гідравлічних будівельних екскаваторах основним робочим обладнанням є зворотна лопата. Це пояснюється в основному тим, що машина при цьому виді обладнання може найбільше повно реалізувати свої технічні можливості щодо потужності привода і зусиль на робочому органі. Робоче обладнання зворотна лопата складається зі стріли 4 (рис. 1.1.3), рукояті 7 і ковша 6. Приведення їх у рух здійснюється за допомогою гідроциліндрів 5, 8 і 9. Рукояті і ковші цього обладнання, виконані фірмами різних країн, мають, приблизно, однакове конструктивне виконання. Стріли ж мають різноманітні рішення. Найбільше поширення на будівельних екскаваторах отримала стріла 5 моноблочного виконання. Вона виготовлена в основному з легованого високоміцного металопрокату і являє зварену вигнуту по довжині опуклістю вверх коробчасту конструкцію. Кінцеві ділянки її мають форму вилки з увареними в коробку відливками з вушками. Нижнім кінцем стріла приєднана до вушок платформи за допомогою осей. Розташовані тут вушка у стріли носять назву п'яти, хоча передача навантаження ними на платформу не завжди здій-

снюється їхньою торцевою поверхнею. Верхні вушка стріли за допомогою пальців 9 з'єднані з рукояттю 3.

Рисунок 1.1.2 Робоче обладнання зворотна лопата з моноблочною стрілою:



Робоче обладнання зворотна лопата з моноблочною стрілою: *а* - вилка оголовку стріли; *б* - варіант кріплення гідроциліндра до стріли; 1 - ківш; 2 - гідроциліндр повороту ковша; 3 - рукоять; 4 -гідроциліндри повороту рукояті; 5 - стріла; 6 - гідроциліндри повороту стріли; 7 - втулка; 8, 9, 10 - пальці; 11 - вісь

Основним робочим органом одноківшевого екскаватора являється ківш. Різноманітність умов застосування даного типу машин призводить і до різноманітності конструкцій ковшів. І якщо для потужних кар'єрних екскаваторів та навантажувачів виробляються два, максимум три типи виконавчих органів, то для будівельної техніки пропонується найширший ряд ковшів різного призначення. Будівельний екскаватор, оснащений гідравлічним робочим обладнанням, здатний проводити складні виїмкові роботи, для досягнення максимальної ефективності яких вимагається застосовувати не тільки стандартний ківш, але і ковші інших типів. Розробкою нових типів ковшів різних форм, розмірів і адаптованих до установки на машини конкретних машинобудівних брендів займаються спеціалізовані інжинірингові компанії. Як уже зазначалося, ковші

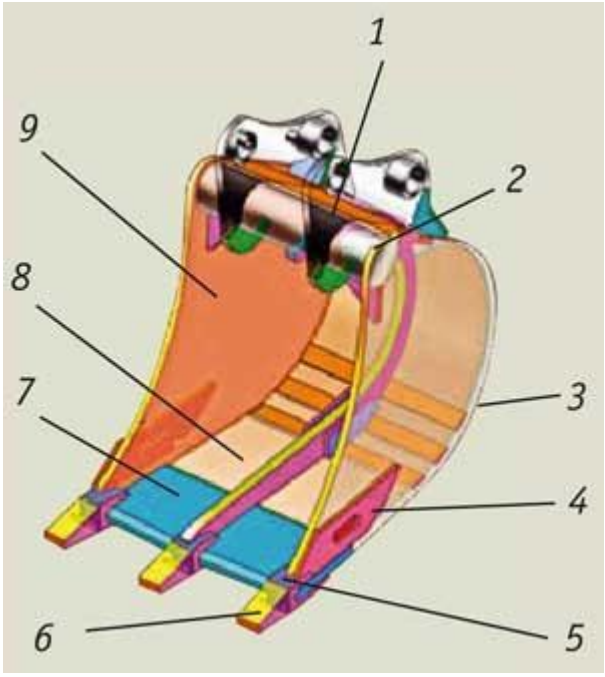
розрізняються формою, розміром, набором інструменту та додаткового обладнання, матеріалом. Ковші кріпляться до рукояті за допомогою багатоланкових важільних механізмів, що забезпечують ковшу необхідну рухливість. Зазвичай робоче обладнання будівельних екскаваторів компонується за схемою «зворотна лопата», так як в поєднанні з гідроприводом вона забезпечує найбільшу універсальність машини. Найбільш поширеними є стандартні ковші для виїмкових робіт. Суцільнозварні, вони виготовляються зі зносостійких сталевих сплавів [1].

Сьогодні особливо популярна сталь HARDOX, і існують вироби, цілком виконані з цього матеріалу. Виробляються ковші з корпусами, де передня стінка з ріжучою кромкою виготовлені із зносостійкої сталі типу 110Г13, а бічні стінки і елементи кріплення - з конструкційних сталей, краще піддаються обробці. Передня ріжуча кромка часто додатково покривається зносостійкою наплавкою. Компанія ТОВ «Професіонал» стала єдиною на території Росії, яка має право використовувати товарний знак HARDOX In My Body. Наявність цього знака підтверджує, що всі зносостійкі частини ковшів виробництва ТОВ «Професіонал» виготовлені з високоміцних сталей HARDOX.

В процесі занурення ковша в породний масив основну роботу по відділенню стружки несуть зуби. Форму зуба, його конфігурацію і розміри вибирають таким чином, щоб знизити опір і руйнівний вплив з боку грунту, який розробляється. Варіантів зубів безліч, установка зубів різних типів може в деякій мірі підвищити універсальність ковша. Ріжуча кромка з зубами є найчастіше окремим конструктивним елементом, який вварюють в корпус сучасного ковша, тому зміна форми ріжучої кромки, збільшення-зменшення кроку установки зубів - це найбільш поширені способи створення нових типів ковшів, і цими способами можна користуватися самому власникові машини. На багатьох підприємствах ковші переварюють власними силами. Раніше використовувалися вставні зуби, які кріпилися в гнізда, виконані, як одне ціле з ріжучою кромкою.

На сьогоднішній день найбільшого поширення набули вільчаті зуби з болтовим кріпленням до ріжучої кромки для ковшів місткістю до 0,3 $м^3$ і для екскаваторів другої розмірної групи, а також коронки, що надіваються на адаптер, приварений до ковша, і фіксуються спеціальним штифтом. Така конструкція дозволяє знизити металоємність і вартість ковша. Виробництвом скельних коронок і коронок для загальних земляних робіт займаються такі фірми, як Pyrsa (Іспанія), Metallurgica Valchiese (Італія), BYG (Іспанія), ESCO (США) та ін. Від форми корпусу ковша безпосередньо залежить його корисна місткість. Наприклад, при тій же самій масі ковша можна збільшити його корисну місткість, в тому числі за рахунок більш раціональної форми днища і бічних стінок. Метою є зменшення «мертвих» обсягів в ковші, тобто простору, який не заповнюється.

Рисунок 1.1.3 Конструкція ковша Компанії «Традиція-К»



1 - щока виготовлена з обробленням 2х45 °; 2 - балка; 3 - зносостійкі ребра жорсткості на днище ковша; 4 - бокоріз; 5 - ковані адаптери Caterpillar; 6 - кована коронка Caterpillar; 7 - загострений ніж із зносостійкої сталі; 8 - днище ковша ; 9 - бокова стінка із зносостійкої сталі.

Також зміна форми корпусу допомагає знизити опір руху грунту усередині ковша при його перерозподілі по внутрішньому об'єму. Ковші можуть оснащуватися додатковим устаткуванням. Існують ковші з інтегрованим роторним дробильним агрегатом (компанія Meccanica Breganzese, Італія), з ударними зубцями, з просіюючими ситами та ін.

Для приводу цих агрегатів використовується частина потужності гідроприводу екскаватора. Агрегатовані з дробарками ковші значно полегшують роботу при розбиранні старих будівель. Екскаватор черпає будівельне сміття, тут же перемелює його і вивантажує в кузов транспортного засобу. Активні зуби дозволяють ефективніше руйнувати міцні грунти, бетонні конструкції і т. д. Екскаватор при цьому одночасно виконує функції розпушувача і навантажувача.

Ківш пряма лопата - базовий орган більшості видів гусеничних екскаваторів. Призначається для екскавації грунту, розробки кар'єрів, риття котлованів, копання траншей, прокладання трубопроводів. Виготовлений з високоміцної сталі. При роботі забезпечує низький опір, скорочуючи площу контакту з грунтом (завдяки особливій конструкції). Поверхня ковшової лопати не схильна до розтріскування під впливом підвищених навантажень. Орієнтована на безліч циклів експлуатації.

Рисунок 1.1.4 Ківш пряма лопата фірми New Holland

Екскаватори, які для виконання спеціальних функцій мають тільки один робочий орган називаються спеціальними, а обладнані змінними ковшами для екскаватора - універсальними. В якості екскаватора може бути використана як спеціально розроблена для цих цілей машина на колісному або гусеничному ходу, так і екскаватор на базі трактора з можливістю установки різних ковшів. В якості робочого обладнання служать наступні види ковшів для екскаваторів: ківш стандартний, ківш посилений, ківш-розпушувач, ківш скельний, ківш планувальний, ківш траншейний, ківш профільний, ківш навантажувальний, ківш решітчастий. Це найбільш поширений, але далеко не повний перелік робочого обладнання для землерийних машин. Для досягнення максимального коефіцієнта корисної дії, при виконанні того чи іншого виду роботи використовується свій, спеціально розроблений для цих цілей ківш для екскаватора. Зупинимося на них більш докладно [1].

Стандартний ківш для екскаватора використовується для виконання переважної більшості землерийних робіт, при роботі з таким грунтом як пісок, глина, суглинок, гравій, щебінь та інші м'які породи, а також при розробці більш важких грунтів (сланці, черепашник, крейдові породи, вапняк). Стандартний ківш буває різного об'єму в залежності від типу екскаватора.

Посилений ківш для екскаватора виконує ті ж види робіт, що і стандартний, тільки застосовують його на більш щільних, важких грунтах.

Ківш - розпушувач має ступінчасте розташування зубів, що дозволяє його використовувати не тільки для виїмки грунту, але і для розпушення замерзлих грунтів, проведення важких робіт на скельних грунтах, а також для дроблення каменю.

Ківш скельний застосовують при розробці важких грунтів з великою концентрацією абразивних матеріалів і кам'янистих включень скельних порід.

Гратчастий ківш екскаватора призначений для навантаження і сортування різних за формою і масі матеріалів при знесенні будівель, для поділу гірської породи на дрібні і великі фракції, а також для просіювання.

Ківш планувальний необхідний при проведенні планувальних і очисних видів робіт на укосах доріг, каналів, насипів і т.д.

Ківш траншейний застосовують для риття вузьких траншей при прокладці кабелів і трубопроводів. Ківш профільний застосовують для риття і поглиблення траншей, каналів з кутом укосів від 45 до 80 градусів.

Навантажувальний ківш екскаватора призначений для робіт з пухкими, сипучими матеріалами. Полегшена конструкція ковша дозволяє збільшити його корисний об'єм.

Як видно з наведеного огляду ковшів для екскаватора, певні види робіт необхідно виконувати спеціально розробленими для цього ковшами, що дозволить досягти максимальної продуктивості.

Рисунок 1.1.5 Спеціальний ківш-розпушувач

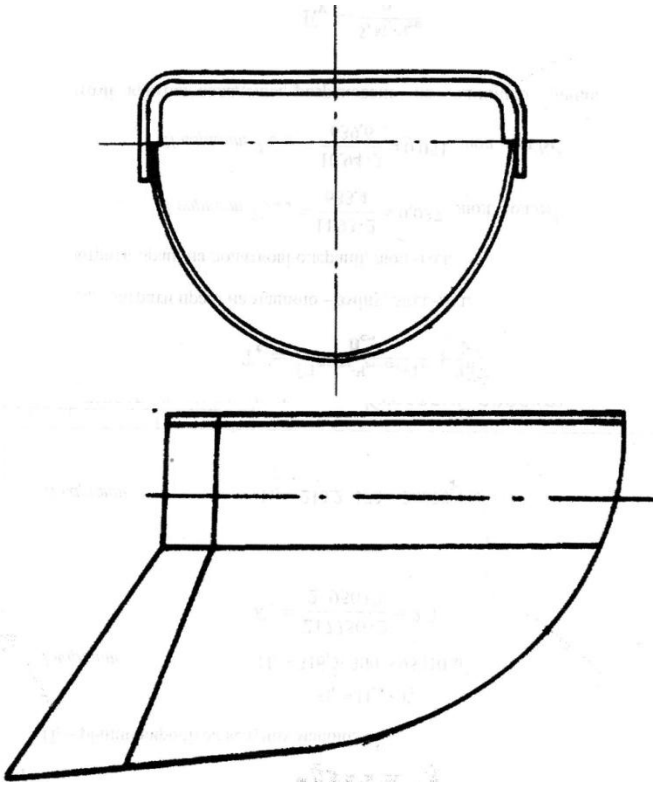
Рисунок 1.1.6 Ківш скельний посилений

1.2 Основні тенденції розвитку робочих органів одноківшевих екскаваторів.

При створенні сучасних будівельних і меліоративних машин велике значення надається вирішенню питань підвищення технічного рівня і конструктивної досконалості одноківшевих екскаваторів, збільшення продуктивності і зниження собівартості виконуваних ними робіт.

На рисунку 1.2.1 зображено ківш, ріжуча кромка якого має еліптичну форму. Ним забезпечується копання виїмок еліптичного профілю під укладку труб в ґрунтовій природній основі. При цьому знижується енергоємність процесу копання ґрунту, забезпечується само установка труби у виїмку при укладці в грунт, на 17 % знижуються напруги у стінках труби від дії зовнішнього навантаження [3].

Рисунок 1.2.1 Ківш з еліптичною ріжучою кромкою.

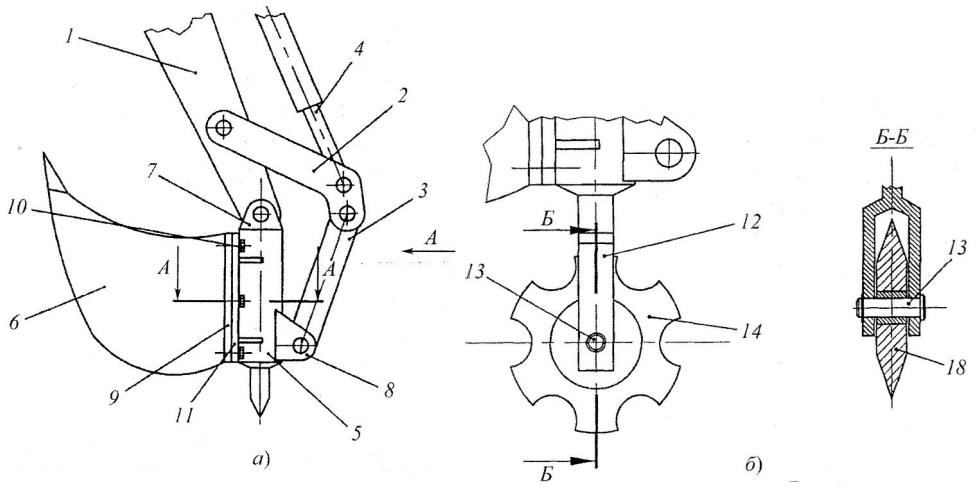


При цьому існує ряд недоліків таких як, при копанні виїмки еліптичного профілю під укладку труб у ґрунтовій осі дна траншеї не видаляються гребені вздовж поздовжньої осі траншеї, не забезпечується очистка дна берми траншеї. Крім того не запобігається осипання виробленого грунту у виїмку. В результаті знижується якість і довговічність експлуатації трубопроводів.

Наступна конструкція ковша (рис. 1.2.2) має розпушувальне обладнання, яке шарнірно з’єднане з рукояттю. Додаткове напірне зусилля, що приводить в рух розпушувальне обладнання вимагає великих затрат потужності, що значно збільшує енергоємність процесу розробки

грунту. З іншого боку розпушувальне обладнання даного типу (фреза) неефективне при розробці грунтів вищих категорій, мерзлого грунту та гірських порід [3].

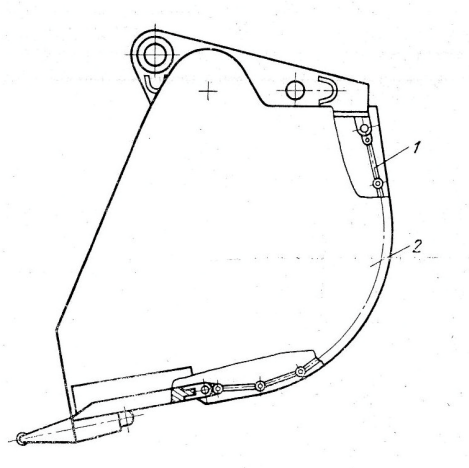
Рисунок 1.2.2 Ківш з розпушувальним обладнанням



Ківш з розпушувальним обладнанням : 1- рукоять, 2- поворотний важіль, 3- тяга,4- гідроциліндр управління, 5- розпушувальне обладнання, 6-ківш, 7,8- проушини, 9- монтажна площина, 14- фреза.

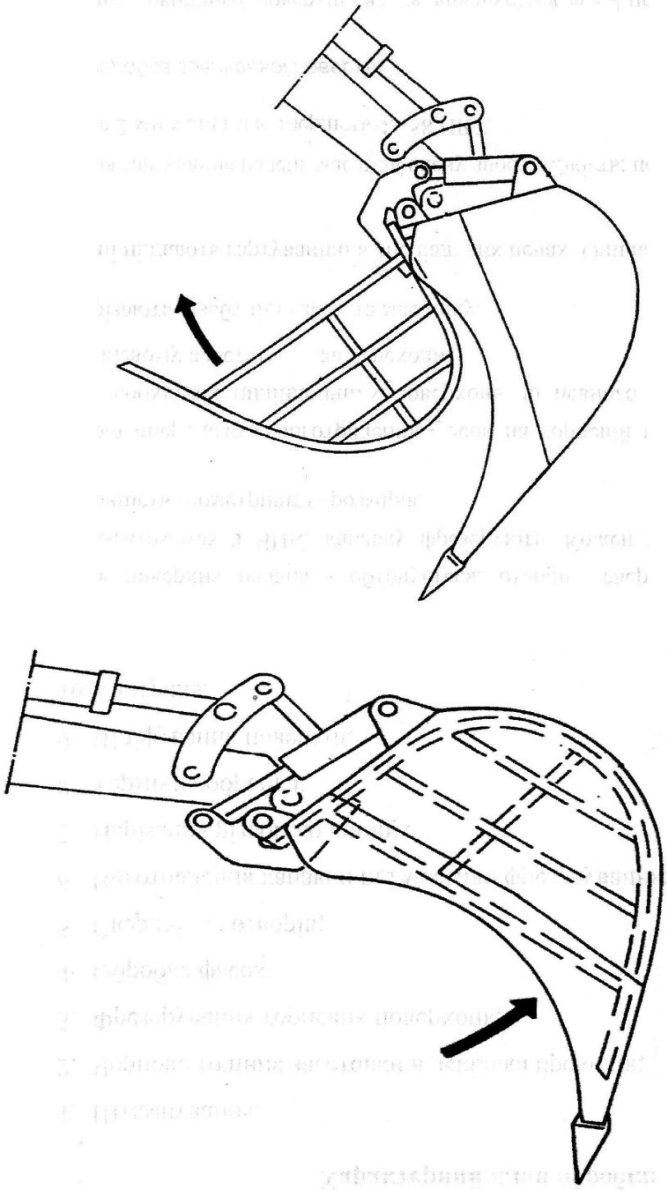
На рисунку 1.2.3 зображено ківш для розробки налипаючих грунтів. Особливістю конструкції ковша являється наявність у ньому гнучкого днища, виготовленого із поздовжніх смуг, шарнірно з'єднаних між собою пластин. Такий пристрій ковша дозволяє очищати внутрішню поверхню днища і бокові стінки від налипаю чого грунту постійно в процесі роботи екскаватора, що зумовлює швидкий знос пластин і внаслідок зменшення коефіцієнта наповнення ковша, що несе за собою негативні наслідки [3].

Рисунок 1.2.3 Ківш для розробки налипаючих грунтів



Відома також конструкція ковша з пристосуванням для просіювання (розділення матеріалу на фракції). Дане пристосування шарнірно кріпиться до ковша і виконане решітчастим. Ця відома конструкція робочого обладнання володіє своїми недоліками ковшовий пристрій призначений і придатний тільки для навантажувальних робіт, відповідно для фронтальної загрузки сипучого грунту та інших матеріалів, а не наприклад для копання твердих грунтів чи каміння, також, значна металоємність робить його економічно недоцільним для використання [3].

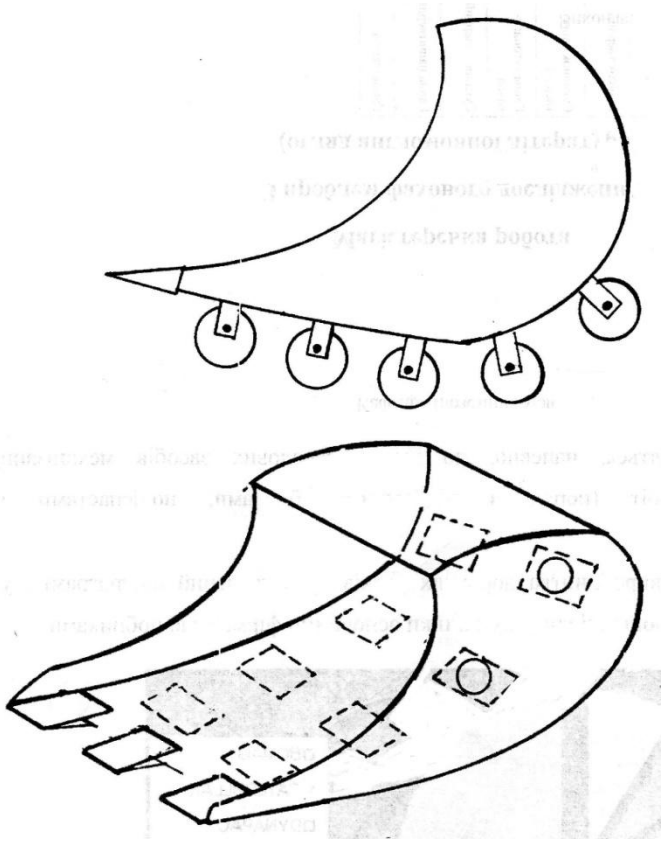
Рисунок 1.2.4 Ківш з пристосуванням для просіювання



Відомий ківш землерийної машини, який має захисні зносостійкі елементи (рис.1.2.5) виконані у вигляді тіл обертання і установлені на

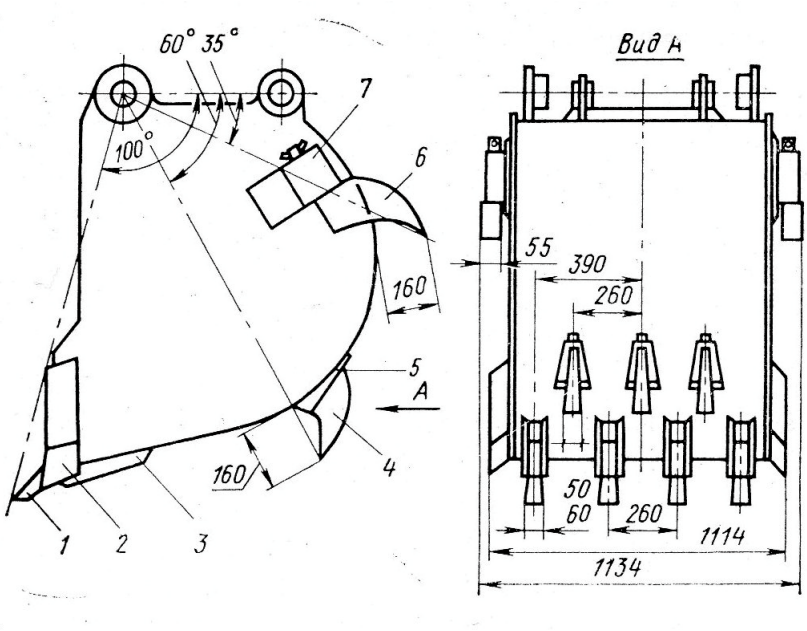
зовнішній частині стороні ковша в зоні контакту днища і задньої стінки з навантажувальним матеріалом. Дана конструкція ковша в певній мірі захищає від абразивного зносу зовнішню поверхню, але тільки в зоні переходу днища в задню стінку. Частина днища ковша від зубів до зносостійких елементів зостається незахищеною .

Рисунок 1.2.5 Ківш із зносостійкими елементами



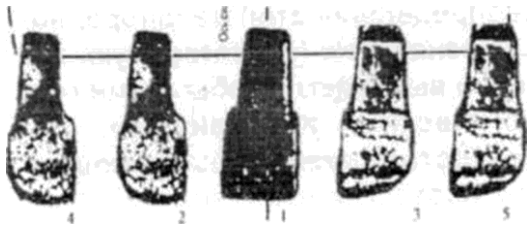
Наступна конструкція – ківш призначений для копання грунтів сезонного промерзання (рис.1.2.6). Модернізований ківш відрізняється від традиційного присутністю допоміжних змінних розпушувальних зубів, розміщених на округленому днищі в 2 ряди перпендикулярно осі ковша . Відстань між рядами зубів дозволяє вводити в забій послідовно кожен ряд зубів без участі в роботі інших рядів. Лінії різання зубів , установлених на днищі і ріжучій кромці ковша , розміщаються симетрично одна одній для виникнення сітки крупного сколу грунту в забої. Ціль даної модернізації полягає у зменшенні енергоємності копання грунту . Суттєвим недоліком даної конструкції є значне збільшення циклу копання, при цьому досягається відносно невелика продуктивність екскаватора.

Рисунок 1.2.6 Ківш для розробки мерзлого грунту



Зуби ковшів - найбільш зношуючі деталі робочих органів, термін їх служби 200-300 год. Проведений статистичний аналіз показав, що інтенсивність зносу зубів у процесі експлуатації неоднаковий: крайні зуби

Рисунок 1.2.7 Характер зносу зубів ковшів екскаватора



1 — центральний зуб; 2, 3, 4, 5 — крайні зуби.

зношуються швидше (рис. 1.2.7), особливо по бічній поверхні.

Теоретичними і екстремальними дослідженнями встановлено, що при копанні на швидкість переміщення частинок ґрунту по бокових поверхнях зубів, які визначають інтенсивність зношування, впливають на швидкість переміщення робочого органу в ґрунті і відстань між зубами. Вплив цих факторів залежить від фізико-механічних властивостей грунту і положення зубів щодо поздовжньої осі симетрії ковша [5].

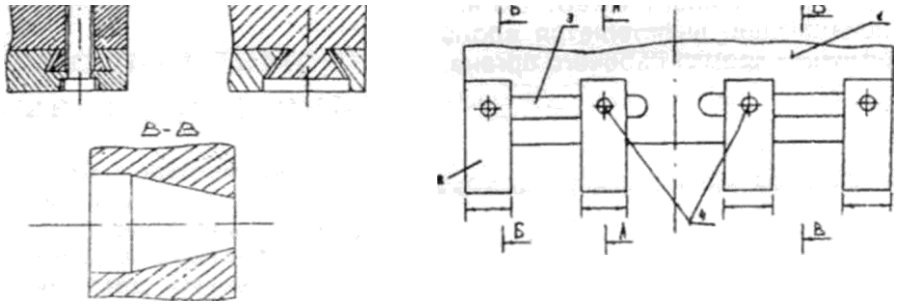
Враховуючи сказане, при розробці різних видів грунтів доцільно встановлювати зуби на нерівній відстані один від одного. Вона має бути оптимальною за умови рівності швидкостей переміщення частинок грунту по бокових поверхнях всіх зубів, що дозволить досягти рівномірної інтенсивності зношування їх бічних поверхонь.

У Військово-технічному університеті (ВТУ) були розроблені робочі

органи ковшового типу зі змінними по ширині ковша положенням зубів. Такі робочі органи можуть застосовуватися на навантажувачах, екскаваторах обладнаних прямою лопатою та інших машинах з робочими органами, які мають змінні зуби.

За прототип взятий робочий орган землерийно-транспортної машини, що має ріжучу кромку зі змінними зубами, установленими в направляючу (патент № 0262856 від 06.04.88, кл. МКІЕ02Р3). Недоліком розглянутого прототипу є відсутність можливості регулювання відстані між зубами, що впливає на умови різання грунту і характер зношування зубів. Запропоноване конструктивне рішення дозволяє змінювати відстань між зубами, які встановлені на ріжучій кромці (рис.1.2.8). Завдання вирішується тим, що направляюча виконується вздовж ріжучої кромки робочого органу.

Рисунок 1.2.8 Конструкція ріжучої кромки робочого органу ковшового типу зі всіма рухомими зубами



1 — ріжуча кромка; 2 — зуб: 3 — паз; 4 — кріпильний елемент

Установка зубів робочого органу в направляючій в залежності від обраної відстані між ними жорстко фіксуються кріпильними елементами. Направляюча виконана у вигляді паза перемінного перерізу, що дозволяє фіксувати в ньому зуби. Жорсткість фіксації забезпечується не тільки кріпильними елементами, але і самою формою паза, виконаної у вигляді трапеції. У хвостовику зуба є отвір для розміщення в ньому кріпильного елемента.

При монтажі змінні зуби заводять виступом у хвостовій частині в паз на ріжучій кромці і жорстко фіксують кріпильним елементом у необхідній точці ріжучої кромки.

В іншому запропонованому конструктивному вирішенні можливість переміщення можуть мати лише парні зуби, починаючи з лівого і правого країв щодо поперечної осі симетрії ріжучої кромки робочого органу. Зуби жорстко фіксують у наскрізному пазі близько парних зубів, краї пазів рівновіддалені від них. Довжина паза повинна бути не менше півтори відстані між зубами за умови їх рівномірного положення. Запропоновані конструктивні заходи дозволяють забезпечити рівномірність зношування бічних поверхонь зубів робочих органів землерийних машин ковшового

типу. Це, у свою чергу, дозволить знизити зусилля копання грунту, підвищити термін служби машин, і як наслідок - знизити економічні витрати на виробництво земляних робіт.

Розділ 2. Теоретичні дослідження.

При вирішенні завдання вдосконалення технічних засобів, що використовуються в кар'єрах, були отримані результати дослідів, що дозволили встановити середньостатистичні параметри найбільш поширеного споживачами робочого обладнання для видобутку нерудних матеріалів. Цим параметрам в найбільшій мірі відповідає гідравлічний екскаватор.

Процес черпання є однією з основних операцій робочого циклу однокошового екскаватора, а залежність опору впровадженню ковша в грунт від відповідної її глибини *W*вн.к (*S*) - однієї з базових залежностей, які характеризують розмірно-геометричні параметри ковша. При вирішенні завдання вдосконалення таких машин, які використовуються під час навантаження скельних грунтів, ряд дослідів рекомендує варіювати конструктивні параметри екскаваторного ковша, розглядаючи опір його зануренню *W* вн.к. в масив грунту як суму опору *W* вн.дн занурення днища (який визначається опором формуючого при цьому ядра ущільнення *W*яд і безпосередньо площині днища *W* пл) і опору впровадження стінок ковша *W* вн.ст , тобто :

$$W \text{ вн.к} = W \text{ вн.дн} + W \text{ вн.ст} = (W\text{яд} + W\text{пл}) + W\text{вн.ст};$$

$$W_{\text{вн.к}} = 10[B(0{,}1d_{\text{еф}}S + K_{/31}S^2) + 0{,}24d_{\text{ср}}A^{1{,}5}(1{,}45 - C_1)(S - S_1)^2] \times$$

$$\times 2^{0{,}1a}K_{\text{ус}}K_{\text{гт}}K_{\text{тп}}.$$

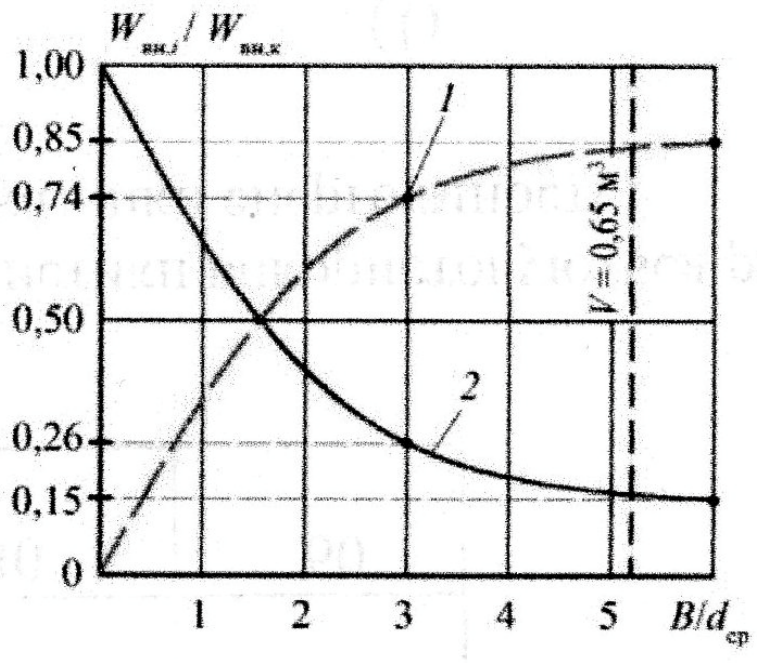
де : *W* вн.к – повний опір зануренню ковша, Н; В – ширина днища ковша, см;

$d_{\text{еф}}$ - ефективний діаметр частинок, см; S – глибина занурення ковша;

$K_{/31} = 0{,}25 + 0{,}034H_1$ - коефіцієнт, який враховує кут H_1 нахилу днища ковша, до розроблюваної поверхні грунту; А – кут нахилу передньої кромки бокової стінки ковша до ґрунтової поверхні, рад; C_1 - кут відхилення бокової стінки від вертикалі, рад; S_1 - довжина виступаючої частини днища щодо бічних стінок, см; , □ - кут нахилу грунту до горизонту, градус; *К*ус - коефіцієнт, що враховує вплив кута сполучення бічних стінок з днищем; *К*гт - коефіцієнт, який враховує вплив гірничотехнічних умов; *К*тп - коефіцієнт, що характеризує «труднощі» процесу навантаження, тобто стан грунту, розпушеність гірської маси після вибуху.

Доцільність поліпшення робочих якостей елементів ковша визначалася за результатами оцінки вагомості факторів впливу на техніко-експлуатаційні показники одноковшевих екскаваторів. Для оцінки значущості опорів впровадження днища *W* вн.дн і *W* вн.ст в повному опорі впровадженню ковша *W* вн.к виконувалися перетворення за певними рівняннями, що описують *W* вн.дн / *W* вн.к і *W* вн.ст / *W* вн.к. За результатами обчислень будується графік (рис.2.1)залежностей *W* вн.дн / *W* вн.к = = *f* (*B*/*d*ср.).

Рисунок 2.1 Залежності W вн.дн / W вн.к = = f (B/dcp.)

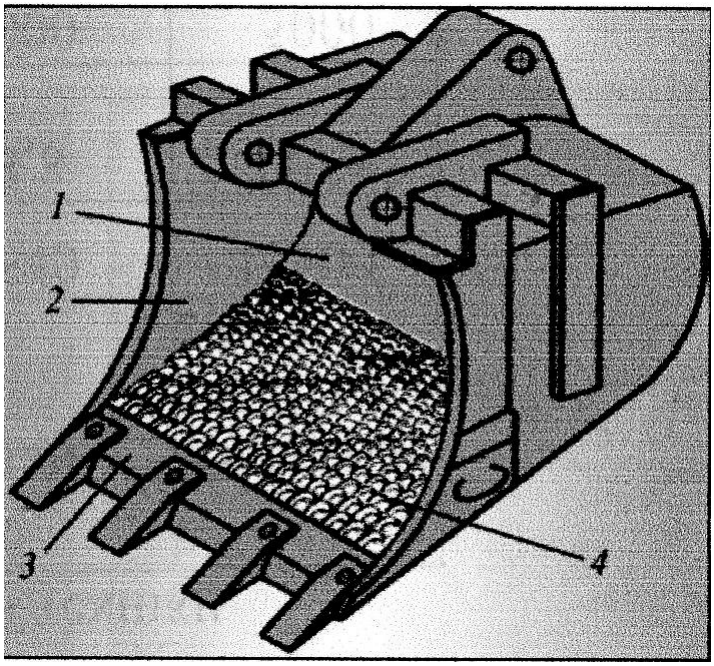


Аналіз отриманих залежностей свідчить про те, що в ковшах місткістю більше 0,65 м3 опір впровадження днища ковша *W* вн.дн становить 80% і більше. Це робить недоцільним при вдосконаленні робочого обладнання одноківшових екскаваторів поліпшення робочих якостей бічних стінок. Рішення завдання слід шукати в напрямку поліпшених робочих властивостей днища ковша. Вирішення задачі слід шукати в направленні покращення робочих властивостей днища ковша.

Зниження енергоємності процесу впровадження ковша екскаватора можливо за рахунок зменшення коефіцієнта тертя грунтів об днище шляхом переходу від тертя ковзання до тертя кочення.

Запропонована конструкція ковша з роликовою робочою поверхнею (рис.2.2) дозволяє вирішити це завдання за рахунок того, що в ковші екскаватора 1 днище 3 виконано у вигляді сукупності роликів 4, встановлених з можливістю обертання відносно осей, закріплених на бічних стінках 2.

Рисунок 2. 2 Конструкція ковша з роликовою робочою поверхнею



При створенні повно розмірних зразків одноківшових екскаваторів від правильного визначення навантажень на елементи робочого обладнання залежать працездатність конструкції, її надійність і маса, а також енергоємність робочого процесу. Визначення фактичних значень навантажень при проведенні натурних випробувань екскаватора - процес трудомісткий і вимагає значних тимчасових і фінансових витрат. Знизити останні при виконанні експериментальних дослідів дозволяє розробка і використання фізичної моделі [1].

Як показує практика відкритих гірських робіт, розвиток конструкцій кар'єрних екскаваторів йде по шляху зростання одиничної потужності і маси машини. Екстенсивне зростання параметрів кар'єрних екскаваторів супроводжується збільшенням вантажопідйомності транспортних засобів (кар'єрних автосамоскидів) і вимагає виконання значного обсягу гірничо-будівельних робіт для розміщення великогабаритного устаткування. У результаті економічний ефект від застосування потужних екскаваторів істотно знижується.

Найбільш радикальний спосіб підвищення технічного рівня виїмково-навантажувального обладнання полягає в принциповій зміні характеру взаємодії робочого органу з гірською породою і схеми силового потоку машини, тобто способу передачі і сприйняття робочих навантажень.

У зв'язку з цим обґрунтування раціональних конструктивних схем робочого обладнання кар'єрних екскаваторів з замиканням робочих навантажень, що забезпечують підвищення технічного рівня екскаваторів, є актуальним науково-технічним завданням.

З метою створення раціональної конструкції робочого обладнання прямих лопат під ВНІІстройдормаш з 1960 по 1965 рр.. проводилися експериментальні дослідження. Ці дослідження дозволили зробити

висновок про цільову перевірку доцільності розробки та використання на прямих лопатах ковшів принципово нової конструкції, копання грунту якими здійснюється при зустрічному русі в горизонтальній площині двох напівківшевих щелеп.

Основним чинником, що обмежує продуктивність кар'єрного екскаватора, є перекидний момент зовнішніх навантажень (сил ваги елементів робочого обладнання та сили опору копанню на робочому органі), величина якого визначається масою екскаватора.

Створення конструкцій робочого обладнання кар'єрних екскаваторів, що забезпечують зниження перекидного моменту за рахунок замикання робочих навантажень, тобто сил опору копанню на робочому органі, дозволить знизити рівень завантаженості екскаватора і масу машини.

Геометричні параметри робочого органу з замиканням робочих навантажень:

Геометричні параметри робочого органу визначаються згідно з технологічною схемою екскавації гірничої маси що полягає у захопленні обсягу гірської маси, рівного за величиною обсягом циліндричного сегмента:

$$V_{\text{гм}} = 0{,}5 B_{\text{к}} R^2 (\alpha_{\text{з}} - \sin\alpha_{\text{з}}) K_{\text{р}}$$

де: Вк - ширина ковша; R - радіус ковша; αз - кут замикання робочого органу; Кр - коефіцієнт розпушення гірської маси.

Встановлено залежність місткості робочого органу від геометричних параметрів радіуса ковша і кута замикання:

$$\text{Е}_{\text{ро}} = 0{,}46 \text{R}^3 ((\text{a}_{\text{з}} - \sin\text{a}_{\text{з}}) \text{К}_{\text{р}} / \text{К}_{\text{н}})^{3/2}$$

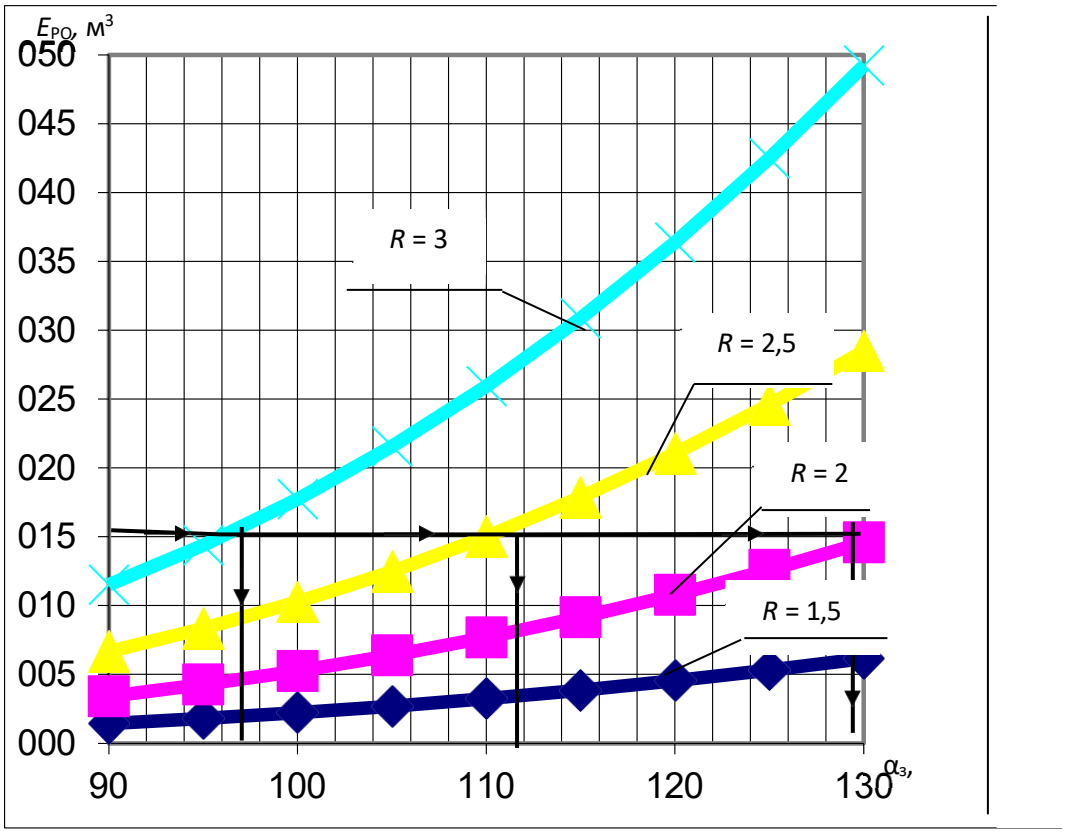
де Кн - коефіцієнт наповнення ковша.

Номограми для визначення місткості робочого органу при черпанні скельних і напівскельних порід при питомому опорі черпання К1 = 325 і 250 кПа, див. рис.2.3.

Процес екскавації гірничої маси при замиканні робочих навантажень характеризується наступними особливостями:

- При копанні сили опору залежать від величини кута замикання;
- Зважаючи змінності товщини шару породи, сили опору при замиканні робочого органу зростають при одночасному зменшенні швидкості копання;
- Потужність сил опору копанню при замиканні робочого органу стабільна за величиною;
- Сила опору копанню робочим органом з замиканням робочих навантажень дорівнює силі опору копанню на одному ковші, тобто щодо відповідності (віднесена до місткості робочого органу) сила опору зменшується в два рази.

Рисунок 2. 3 Номограма для визначення місткості робочого органу при черпанні скельних порід (К1 = 325 кПа)



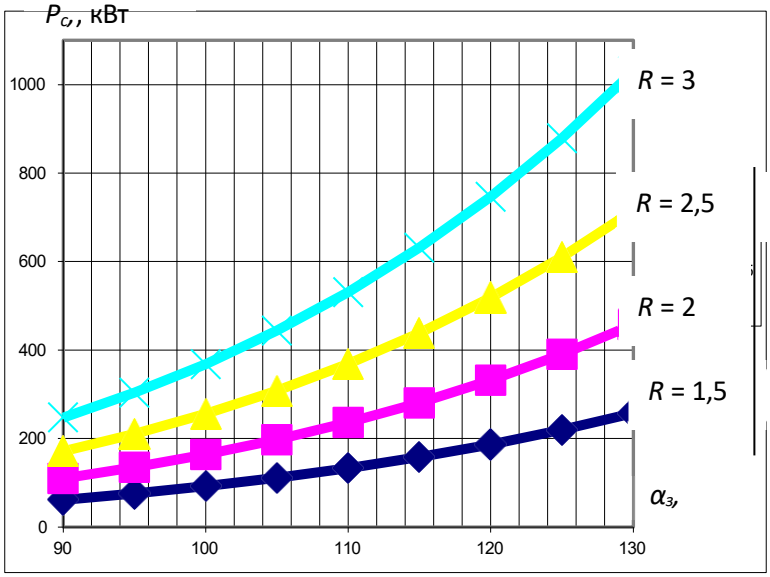
Отримано залежність потужності сил опору черпання робочим органом з замиканням робочих навантажень від геометричних параметрів робочого органу та режимних параметрів механізму замикання :

$$P_c = \frac{0{,}5K_1 B_к R^2 \left(\frac{\alpha_з}{2} + \cos\frac{\alpha_з}{2} \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi - \alpha_з}{4}\right)\right) v_з}{R_з \left(\sin\beta_з - \sin\left(\beta_з - \frac{\alpha_з}{2}\right)\right)},$$

де vз - швидкість штока гідроциліндра замикання; Rз і βз - координати точок кріплення гідроциліндра.

На рис. 2.4 наведені графіки зміни потужності сил опору черпання скельної породи (К1 = 325 кПа).

Рисунок 2. 4 Графік зміни потужності сили опору при черпанні скельних порід (К1 = 325 кПа)



Форма поздовжнього профілю ковша екскаватора з обладнанням зворотної лопати визначається на основі статистичних даних. Цей метод простий, але має обмежене застосування через відсутність рекомендацій з обліку впливу кінематичних параметрів траєкторії переміщення ковша в процесі копання грунту, які залежать від параметрів конструкції екскаватора. Дослідження, спрямовані на визначення раціональної форми ковша екскаватора, - необхідна задача проектування нового робочого обладнання екскаваторів для типових та спеціальних умов їх експлуатації [6].

У результаті аналізу конструкцій ковшів вітчизняних і зарубіжних екскаваторів з обладнанням зворотної лопати виявлено значний резерв збільшення їх ємкості шляхом зміни поздовжньої форми, зберігаючи незмінними параметри, що визначають форму різального периметра ковша. Так, збільшуючи радіус кривизни днища ковша екскаватора ЕО-4322 ємкістю q = 0,8 м3 до розміру радіуса траєкторії, описуваної ріжучою кромкою ковша при повороті його відносно рукояті, можна досягти місткості ковша q = 1,3 м3. При цьому продуктивність екскаватора може бути збільшена на 60%. Для змінних ковшів цього екскаватора місткістю 0,5; 0,65; 1,0 і 1,25 м^3 можливе збільшення місткості відповідно до 0,85, 1,0, 1,6 і 2,1 м^3.

Поздовжня форма ковша сучасного екскаватора з обладнанням зворотної лопати визначається умовою забезпечення повороту ковша щодо рукояті без небезпеки контакту зовнішньої стінки днища ковша з поверхнею забою. В іншому випадку порушується номінальний хід процесу копання грунту, що призводить до мимовільного виглиблення ковша, зменшенню обсягу вирізуваного грунта, продуктивності і збільшенню енергоємності процесу копання грунту.

Результати експериментальних і теоретичних досліджень процесу взаємодії ковша екскаватора з грунтом показали, що найменшою енергоємністю процесу набору грунту володіє ківш, поздовжній профіль днища якого найбільш віддалений від центру повороту ковша, тобто найбільш наближений до поверхні забою.

Проте в процесі копання відбувається зміщення центру повороту ковша, яке необхідно враховувати при визначенні поздовжньої форми ковша. Це зміщення обумовлено податливістю конструкції кріплення ковша і величиною навантаження, що сприймається ковшем в процесі копання. Податливість конструкції є наслідком пружних, псевдопружних і "релаксуючих" деформацій елементів несучої конструкції екскаватора при сприйнятті робочих навантажень в процесі копання грунту.

Проте в процесі копання відбувається зміщення центру повороту ковша, яке необхідно враховувати при визначенні поздовжньої форми ковша. Це зміщення обумовлено податливістю конструкції кріплення ковша і величиною навантаження, що сприймається ковшем в процесі копання. Податливість конструкції є наслідком пружних, псевдопружних і "релаксуючих" деформацій елементів несучої конструкції екскаватора при сприйнятті робочих навантажень в процесі копання грунту.

Пружні деформації несучої конструкції екскаватора в заданому напрямку визначаються міцністю розмірами елементів металоконструкції екскаватора, характеристиками пружності гідросистеми і положенням робочого обладнання.

Псевдопружні деформації - наслідок наявності люфтів в кінематичних парах вушок кріплення гідроциліндрів, вузлів спільного кріплення ковша, рукоятки, стріли, поворотної платформи, опорно-ходової рами і опорних пристроїв. Особливість цих деформацій ступеневе зміщення центру повороту ковша в міру досягнення певного навантаження на робочі органи і повернення у вихідне положення при зменшенні навантаження.

"Релаксуючі" деформації визначаються станом силового обладнання екскаватора (гідроциліндрів рукоятки, стріли, виносних опор), знос елементів конструкції яких викликає перетік робочої рідини із порожнини високого тиску в порожнину низького, викликаючи незворотні зміщення центру повороту ковша. "Релаксуючі" деформації залежать від величини і часу дії навантаження, ступеня зносу ущільнювачів гідросистеми [5].

На рис. 2.5 наведені залежності вертикального Δв і горизонтального Δг зміщення центру повороту ковша при сприйнятті навантаження від сили Рв у вертикальному (або від сили Рт в горизонтальному) напрямку вздовж осі У (Х) відповідно розрахунковій схемі (рис. 2.6). Зсув центру повороту ковша є наслідком пружних і псевдопружних деформацій елементів конструкції екскаватора і його робочого обладнання.

Рисунок 2.5 Залежності вертикального Δв і горизонтального Δг зміщення центру повороту ковша при сприйнятті навантаження від сили Рв у вертикальному (або від сили Рт в горизонтальному) напрямку вздовж осі У (Х)

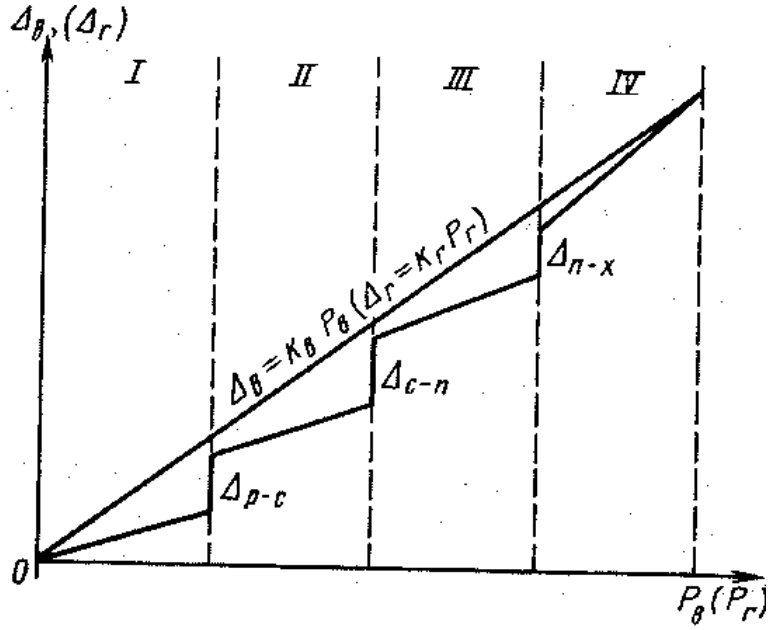
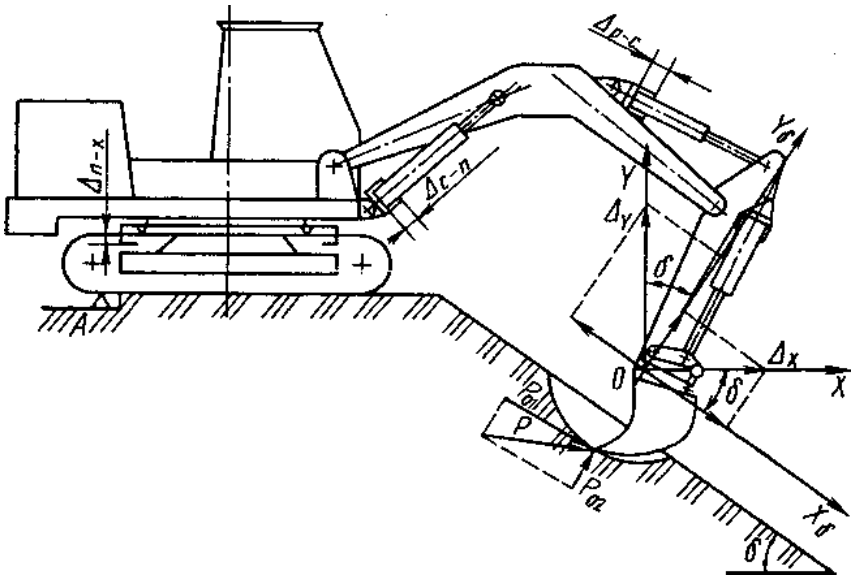


Рисунок 2.6 Розрахункова схема



Похилі прямолінійні ділянки графіка, зміщення центру повороту ковша відповідають пружнім деформаціям систем, що складаються з наступних елементів конструкції екскаватора:

І Ділянка - система ківш-рукоять до момента вибору люфтів в системі зчленування рукоять-стріла;

ІІ участок - система ківш-рукоять-стріла до моменту вибору люфтів в системі зчленувань стріла-опорно-поворотна платформа;

III ділянка - система ківш-рукоять-стріла-опорно-поворотна платформа до моменту вибору люфтів в системі зчленувань опорно-поворотної платформи з рамою ходового пристроя;

IV ділянка - система ківш-рукоять-стріла-опорно-поворотна платформа-рама ходового обладнання до моменту початку перекидання всієї конструкції екскаватора відносно ребра опорного контуру.

Вертикальні ділянки графіка (див. рис. 2.5) характеризують зміщення центру повороту ковша, поєднане з процесом вибору люфтів в системах: Δр.с - рукоять-стріла, Δс.п - стріла-опорно-поворотна платформа, Δп.х - опорно-поворотна платформа - ходове устаткування.

Пошук раціональних параметрів форми ковша екскаватора полягає у визначенні таких параметрів ковша, при яких досягається максимальний економічний ефект, при розрахунку якого необхідно враховувати питомі наведені витрати (витрати на створення та експлуатацію екскаватора, віднесені до 1 м3 виробленого грунту). Витрати, пов'язані з виготовленням та експлуатацією ковша, незначні (1-2%) у порівнянні з сумарними витратами, ними можна знехтувати, враховуючи імовірнісну природу мінливості умов виробництва робіт.

Задача визначення раціональних параметрів геометричної форми ковша, при яких досягається мінімальні значення енергоємності процесу копання грунту і матеріаломісткості ковша вирішувалася на основі наведених раніше математичних моделей з використанням наступних вихідних даних: Рк; Кв, Кг, q, С .

При цьому дотримувалися наступні обмеження.

1. Опір копанню при наборі грунта в ківш не повинно перевищувати максимального зусилля, забезпечуваного конструкцією екскаватора.

2. Поздовжня форма ковша в процесі копання грунту повинна виключати можливість торкання зовнішньої поверхні днища по поверхні забою. Зазор дорівнює 1 см.

3. Максимальний кут повороту ковша при копанні не повинен перевищувати 2φ - величини, яка визначається конструкцією ковша і кінематичними можливостями робочого обладнання (максимальне значення 2 φ - 100 ... 120 °).

4. Максимальний радіус траєкторії руху ріжучої кромки ковша не повинен перевищувати суми довжини рукоятки $R_р$ (вимірюваної між точками кріплення рукояті до стріли і віссю кріплення ковша до рукояті) і радіуса повороту ріжучої кромки ковша відносно рукояті.

5. Мінімальна ширина ковша визначається умовою виключення заклинювання грунту між бічними стінками в процесі копання, максимальна ширина ковша - умовою стійкої роботи екскаватора при сприйнятті (внаслідок асиметрії властивостей середовища) навантажень, що скручуються або за умови міцності металоконструкції робочого обладнання.

6. Кут нахилу поверхні днища ковша до потоку входить до ківш грунту (або радіус кривизни днища) не повинен перевищувати значення, при якому створюються умови заклинювання грунту.

На рис. 2.7 наведені результати аналізу впливу міцності розробляється грунту на показники ефективності процесу копання і геометричні параметри, що визначають поздовжню форму ковша. Розрахунки проводилися для ковша екскаватора з обладнанням зворотньої лопати і параметрами: q =0,5 м3; B = 950 мм; R = 1130 мм; $R_Д$ = 100 см; Рк = 85 кН; $К_в$ = $К_г$ == 0,8 мм / кН. Параметри B і R обрані за ГОСТ 22-915-76, податливість конструкції робочого обладнання по осях X і У прийнята орієнтовно за даними КБ заводів і експериментальних досліджень.

Так, при збільшенні міцності грунту зменшується повний кут 2 φ повороту ковша в процесі копання (рис. 2.7). Це пояснюється зменшенням допустимої по заданому максимальному зусиллю копання глибини копання. При цьому спостерігається зменшення кількості набраного в ківш грунту. Порівняння розрахункових і експериментальних даних показало їх задовільну збіжність.

Рисунок 2. 7 Залежності опору копанню грунтів різної категорії від кута повороту ковша (1-С=2; 2 - С=4; 3 - С=6; 4 - С=8; 5 - С=10; 6 – С=12; 7 - С=14; 8 – С=16).

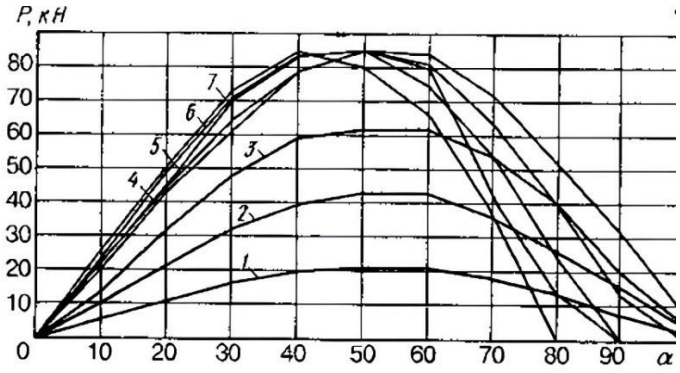
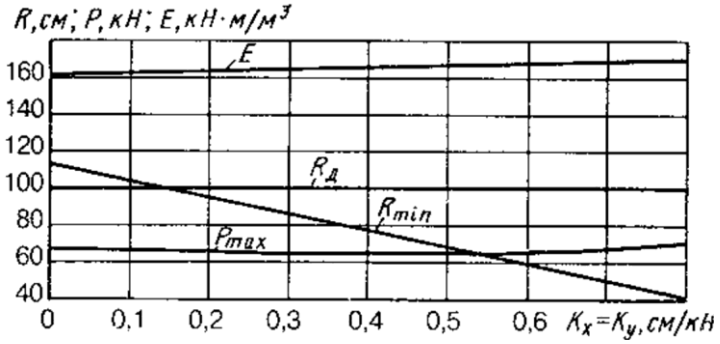


Рисунок 2. 8 Залежності енергоємності Е, максимального зусилля копання Рмах і максимального радіусу днища від податливості Кх і Ку робочого обладнання екскаватора(С=6).



За результатами цих розрахунків можна зробити наступні висновки:

• при збільшенні міцності грунту енергоємність процесу копання і матеріалоємність ковша зростають;

• при розробці грунту будь-якої міцності обсяг вирізаного грунту, розрахований з урахуванням податливості конструкції робочого обладнання, менше обсягу, обчисленого без урахування податливості;

• при заданих геометричних параметрах і максимальному зусиллі копання заповнення ковша геометричній місткістю q= 0,5 м3 поворотом ковша щодо рукоятки можливо при розробці грунтів міцністю С <6.

2.1 Оцінка впливу кута нахилу поверхні забою δ на вибір форми ковша і показник ефективності процесу копання.

У розрахунках кут δ змінювався від 0 до 90 °, а параметри ковша і ефективність процесу копання не змінювалися. Встановлено, що коефіцієнт ψ не впливає на ефективність процесу копання і геометричні параметри ковша.

З метою порівняння різних за кривизною траєкторії копання способів розробки грунту ковшем екскаватора було проведено розрахунки для грунтів різної міцності при змінному радіусі траєкторії руху різальної крайки ковша. За результатами цих розрахунків зроблені наступні висновки:

• при збільшенні міцності грунту енергоємність процесу копання збільшується;

• подовжню форму днища ковша слід вибирати на. основі розрахунку режиму копання грунту поворотом ковша щодо рукоятки, так як в цьому випадку мінімальний радіус днища ковша при всіх значеннях міцності грунту найменший;

• при розробці грунтів міцністю С= 12-14 заповнення ковша до заданої ємкість можливо, якщо копання здійснювати поворотом рукояті щодо стріли.

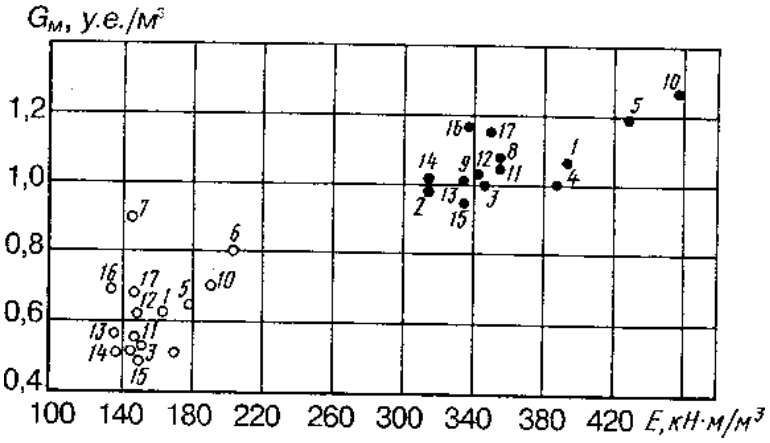
2.2 Визначення раціональної ширини ковша В і радіуса траєкторії руху різальної кромки ковша R при копанні поворотом ковша щодо рукояті.

З розрахунків випливає, що обсяг вирізаного грунту Q, мінімальний радіус днища ковша і кут нахилу днища ковша при зміні ширини ковша від 0,6 до 1,5 м змінюються незначно. Енергоємність процесу копання зменшується при збільшенні радіусу і ширини ковша, а матеріалоємність при цьому збільшується. У цій ситуації скрутно рекомендувати

раціональну форму ковша екскаватора, яка визначається зазначеними показниками. Тому в подальшому був розширений діапазон зміни параметрів R і B і виконаний спеціальний аналіз.

На рис. 2.2.1 наведено результати розрахунків у вигляді аналізу Парето, де по осі абсцис відкладена енергоємність процесу копання E, а по осі ординат-матеріаломісткість ковша Gм в умовних одиницях (обумовлених відношенням площі поверхні сектора, обмеженого променями під рогом 2φ і лінією днища ковша, до обсягу вирізаного грунту). Аналіз показав, що кращими є ковші, геометричні параметри яких відповідають точкам, найбільш наближеним до початку відліку осей координат E і Gм. Такими ковшами незалежно від міцності розроблюваних грунтів являюся ковші № 2, 13, 14, 15, ковші з зменшеним порівняно зі стандартним (ківш № 1) радіусом R і збільшеною шириною B.

Рисунок 2.2.1 Аналіз Парето конструкцій ковшів гідравлічного екскаватора (◦ - C=6, • - C=16).



У таблиці 2.2.1 наведені геометричні параметри цих ковшів R і B, енергоємність E і матеріаломісткість Gм, мінімальний радіус днища ковша Rд і повний кут повороту ковша 2φ при розробці грунтів міцністю C = 6 і C - 16. При розробці грунтів міцністю C = 6 умовою копання була прийнята рівність обсягу вирізаного грунту місткості ковша q = 0,5 м³, а при розробці грунтів міцністю C - 16 - обмеження максимального зусилля Pмах = 85 кН, що реалізується на ріжучій кромці ковша екскаватором. Для випадку C - 16 в таблиці зазначено об’єм, який менше заданої місткості ковша.

Таблиця 2.2.1

№	R, см	B, см	E, Дж/м^2	G_м, у.е./м^3	R_д, см	2_varphi, градус	Q_3, м_3	E, Дж/м^2	G_м, у.е./м^3	R_д, см	2_varphi, градус
			C=6				C=16				
1	113	95	163	0,63	108	108	0,21	393	1,12	101	80
2	70	150	146	0,49	61	127	0,18	326	0,98	59	91
3	80	130	151	0,51	71	121	0,18	345	0,99	69	88
4	90	100	169	0,52	82	122	0,19	389	1,01	79	90
5	120	80	178	0,65	112	107	0,21	428	1,18	108	81
6	150	60	203	0,81	142	100	0,21	492	1,43	137	77
7	170	100	144	0,91	162	76	0,23	426	1,60	156	64
8	100	120	147	0,59	92	105	0,21	353	1,07	88	80
9	80	140	145	0,52	71	118	0,19	333	1,00	68	86
10	130	70	190	0,70	122	105	0,21	358	1,26	118	80
11	90	120	152	0,54	82	114	0,19	355	1,02	78	85
12	90	130	145	0,55	82	110	0,20	342	1,03	78	83
13	90	150	140	0,56	82	107	0,20	331	1,04	78	81
14	80	160	139	0,53	72	115	0,19	323	1,02	68	85
15	70	160	152	0,48	61	131	0,17	336	0,96	59	3
16	120	130	135	0,69	112	90	0,23	337	1,16	107	72
17	120	120	141	0,68	112	92	0,23	350	1,16	107	74

Беручи до уваги вище сказане, були розроблені теоретичні основи визначення форми ковша екскаватора з урахуванням податливості конструкції робочого обладнання, розроблено алгоритм і програму розрахунків, що дозволяють визначити геометричні параметри ковша екскаватора з устаткуванням зворотної лопати з урахуванням податливості, при яких досягаються мінімальні значення енергоємності процесу копання і матеріалоємності ковша.

Встановлено, що для зниження (на 15-20%) матеріаломісткості ковша зворотної лопати доцільно зменшити радіус R, який з'єднує вісь кріплення ковша до рукояті з його ріжучою крайкою, збільшити ширину ковша і зменшити кут нахилу днища ковша до 20 °. При цьому можливе зменшення енергоємності (на 10-15%) і гарантується відсутність тертя зовнішньої поверхні днища ковша об поверхню вибою при будь-яких способах копання.

Будівництво різних об'єктів пов'язане з виконанням робіт нульового циклу, риттям котлованів і траншей, видаленням старих фундаментів і споруд. У гірській промисловості актуальна задача безвзривної виїмки корисних копалин і порід.

Для цих цілей застосовується ківш активної дії (рис. 2.2.2), що відрізняється від звичайних наявністю ударних зубів, що приводяться в

дію розташованими в передній стінці молотами. При упорі ударного зуба в руйнований матеріал, для розробки якого потрібні зусилля, які перевищують зусилля, що розвиваються головним приводом екскаватора, відповідний молот включається в роботу, забезпечуючи ударне руйнування розроблюваного матеріалу. Конструкція молотів передбачає їх незалежне автоматичне включення і виключення. Основним елементом ковша активної дії є передня кромка, що забезпечує руйнування масиву. Її конструкція і параметри мають головне значення при розробленні робочого органу.

Рисунок 2.2.2 Конструкція ковша активної дії

Під час розрахунку машин для земляних робіт використовується показник питомого опору грунту різанню або копанню. Опір грунту копанню екскаваторним ковшем немерзлих грунтів визначається за допомогою питомого опору грунту копанню Ко, кН/м^2. Для зворотної лопати в якості розрахункового приймається грунт IV категорії.

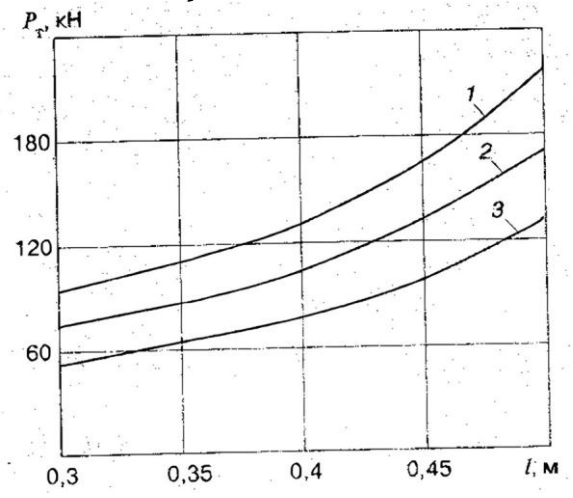
При ударному руйнуванні мерзлого грунту питомий опір копанню залежить від декількох факторів: гранулометричного складу і вологості грунту, його температурі, енергії удару, відстані між активними зубами. У процесі експериментів на різних видах мерзлих грунтів отримані питомі опору копанню для різних умов руйнування.

Істотне значення для роботи ковша активної дії має відстань між активними зубами. Мінімальна відстань між осями активних зубів може визначатись, виходячи з діаметру трубчастих кожухів, в яких розташовуються молоти. Після проходу робочого органу ударної дії в

ґрунті залишається слід руйнування, що має в поперечному перерізі вид, близький до трапеції. На дні сліду між сусідніми зубами утворюється гребінь незруйнованого грунту. Бічні поверхні сліду руйнування нахилені до вертикалі під кутом розвалу, який змінюється в межах 55 - 65 °. Величина гребеня незруйнованого мерзлого грунту зростає із збільшенням товщини руйнованого шару. Зі збільшенням відстані між зубами зростають необхідні тягові зусилля на переміщення ковша, а також величина гребного незруйнованого грунту між зубами. При цьому площа сліду руйнування збільшується. У той же час від цієї відстані залежить число ударних зубів, необхідних для перекриття передньої кромки ковша без істотного зменшення його ширини.

Для раніше наведених умов були отримані значення питомого опору копанню Ко: 290, 350 і 510 кН/м2, відповідні відстаням між осями активних зубів : 0,3, 0,4 і 0,5 м. Тягові зусилля Рт із збільшенням відстані між осями зубів збільшуються (рис. 2.2.3), причому якщо в діапазоні 0,3 - 0,4 м зусилля зростають повільно, то в діапазоні 0,4 - 0,5 м спостерігається їх значне зростання . Незважаючи на те, що при збільшенні товщини руйнованого шару взаємодія між зубами поліпшується, тягові зусилля з збільшенням відстані між зубами інтенсивно зростають, як за рахунок збільшення питомого опору копанню Ко, так і за рахунок збільшення площі сліду руйнування. Подібні залежності були отримані для різних ґрунтових умов і енергії удару, при цьому характер залежності не змінювався.

Рисунок 2.2.3 Залежності тягового зусилля Рт від відстані l між осями ударних зубів при різній товщині руйнування h – 0,3 (1) ,0,25 (2), 0,2 м (3) – для суглинка.



Виходячи з вище викладеного рекомендується приймати відстань між осями активних зубів в межах 0,3 - 0,4 м з врахуванням можливості розміщення молотів в ковші. При конструюванні робочої кромки ковша і розташуванні на ній ударних зубів, її форма повинна вибиратися з урахуванням впливу мінімальних лобових опорів. Руйнування мерзлого грунту повинно проводитися тільки за рахунок удару шляхом

впровадження інструменту. Інші елементи ковша не повинні контактувати з ґрунтом, тому що опір мерзлого грунту різання в десятки разів перевищує тягові зусилля при ударному руйнуванні. Конструкція робочої кромки надає значний вплив на працездатність ковша. За результатами експериментів рекомендується застосування зубів у вигляді клину з кутом загострення 35 °. Зменшення цього кута викликає зниження міцності зуба, а збільшення - зменшує впровадження клину в грунт при ударі.

Проведені дослідження при зазначених вище параметрах передньої кромки показали, що висота гребеня між зубами не перевищує 0,04 м і при розрахунку площі сліду руйнування може не враховуватися.

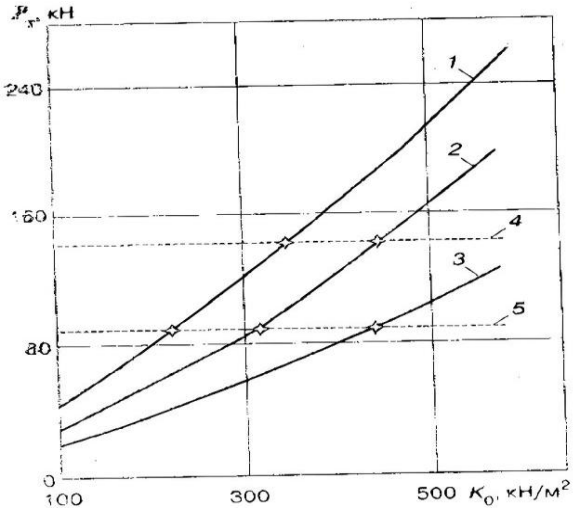
Площа сліду руйнування:

$$F = (n-1)lh + ah + h^2 tg\psi,$$

де : n – число ударних зубів, а – ширина зуба, ψ – кут розвалу бокових поверхонь сліду руйнування.

При розробці вузьких траншей, ширина яких дорівнює ширині ковша, розвал сліду з боків траншеї не відбувається, і наступний член залежності не враховується. При ритті ширших траншей і котлованів руйнування мерзлого грунту відбувається з утворенням трапецеїдального сліду, але частина елементів відколу в ківш не потрапляє. Роботу, витрачену на руйнування грунту по сторонах ковша, не можна вважати марною так як при наступному циклі копання ці шматки потрапляють в ківш. Залежності тягового зусилля Рт від питомого опору копанню Ко при різній товщині до руйнованого шару (рис. 2.2.4) дозволяють визначити можливості екскаватора з ковшем активної дії по розробленню мерзлих грунтів у різних умовах. Штрихові лінії відповідають максимальним зусиллям, одержуваних на зубах ковшів екскаваторів 4-й (4) і 3-й (5) розмірних груп.

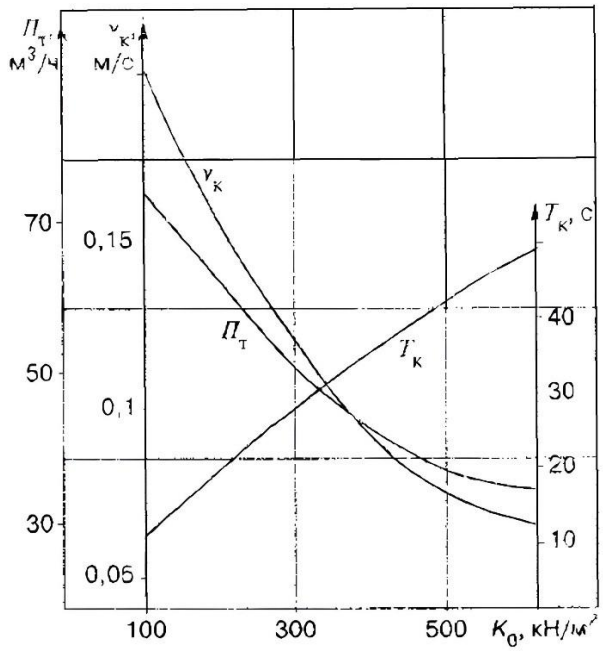
Рисунок 2.2.4 Залежності тягового зусилля Рт від питомого опору копанню Ко при різній товщині слою h: 0,3 –(1), 0,25 – (2), 0,2 м – (3).



Розрахунки показали, що місткість ковша активної дії становитиме 60 - 80% від місткості стандартного ковша. При рекомендованих відстанях між осями активних зубів місткість експериментального ковша для екскаватора 4-й розмірної групи була прийнята 0,6 $м^3$. Як показали проведені експерименти, наповнення ковшів активної дії зруйнованим мерзлим ґрунтом більш ефективне. Шматки мерзлого грунту затримуються між виступами перед зубами, і ківш наповнюється.

На рис. 2.2.5 представлені отримані розрахунковим шляхом залежності швидкості руху ковша v_k, тривалості копання Тц і технічної продуктивності Пт від питомого опору мерзлого грунту руйнуванню Ко. При розрахунку враховувалося, що із збільшенням Ко товщина руйнованого шару і відповідно площа сліду руйнування зменшувалися. Розрахунки показали, що технічна продуктивність екскаватора складає 31-73 $м^3$ / год.

Рисунок 2.2.5 Залежності швидкості руху ковша v_k, тривалості копання Тц і технічної продуктивності Пт від питомого опору мерзлого грунту руйнуванню Ко



Застосування показника питомого опору при ударному руйнуванні мерзлого грунту ковшем активної дії дозволяє визначати як оптимальні значення параметрів передньої кромки ковша, так і основні показники циклу копання грунту.

Ідея створення ковшів на основі гідроударників дуже перспективна, однак, незважаючи на відносно багаторічний досвід виготовлення експериментальних зразків ковшів, до теперішнього часу не створено конструкції, яку можна було б рекомендувати для широкого застосування. Науково-дослідні розробки показали, що успішне створення робочих органів активної дії для дорожньо-будівельних машин можливе лише за умови правильного вибору їх параметрів з урахуванням умов

експлуатації, особливостей процесу ударного порушення мерзлого грунту.

Аналіз результатів дослідження робочого процесу ковша активної дії на основі гідроударних обладнань показав, що факторами, які в значній мірі впливають на швидкість удару рухомих частин (від якого залежить енергія одиничного удару і ефективність роботи гідроударного обладнання) і ковша активної дії в цілому, є маса бойка і тиск зарядки газу пневмоакумулятора.

Одна з можливих конструкцій ковша активної дії екскаватора ЕО-4121 представлена на рис. 2.2.6. Ківш активної дії включає кілька гідроударних пристроїв, які складаються з енергетичного блока, блоку управління робочим циклом, інструменту, ділення потоку і джерела споживання базової машини - екскаватора.

На рис. 2.2.7- 2.2.8 представлені залежності швидкості удару від ходу рухомих частин (бойка) і тиску зарядки газу пневмоакумулятора при різних значеннях маси рухливих частин (для подачі насоса (Q_1= 0,0005 $м^3$/с).

Рисунок 2.2.6 Можлива конструкція ковша активної дії екскаватора ЕО – 4121

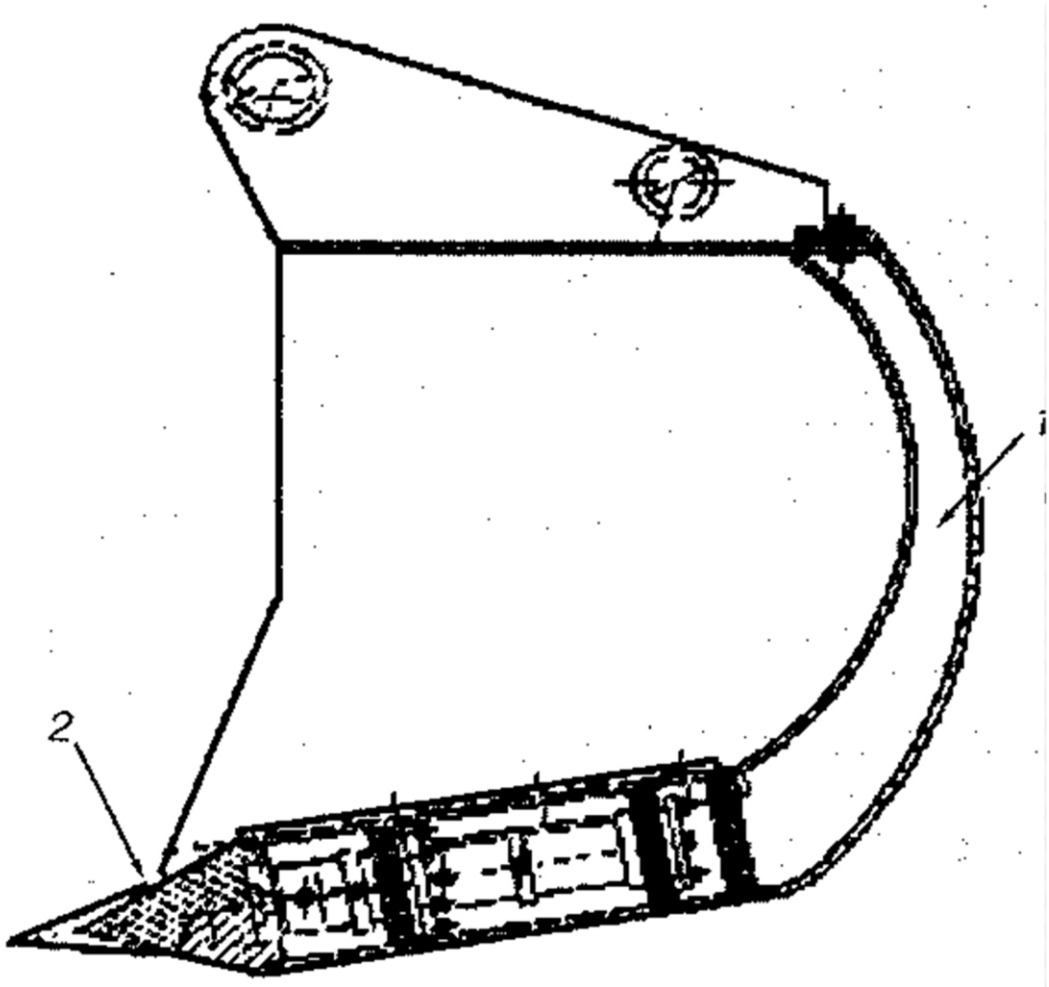


Рисунок 2.2.7 Залежності швидкості удару від ходу рухомих частин при різних значеннях маси бойка.

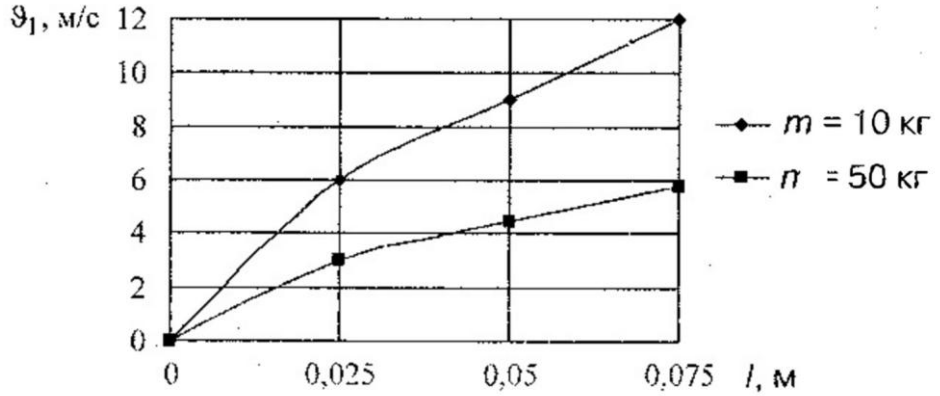
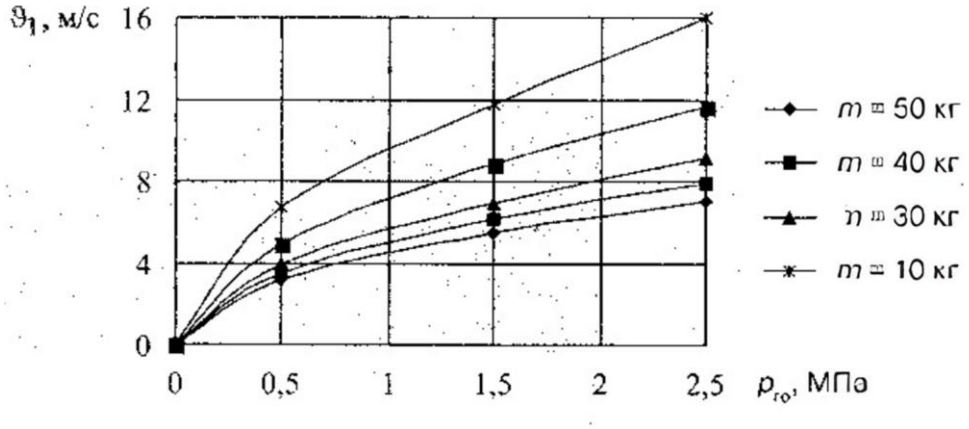


Рисунок 2.2.8 Залежність швидкості удару від тиску зарядки газу при різних значеннях маси бойка.



Із застосуванням математичних методів планування експерименту в дослідженні основних параметрів ковша активної дії екскаватора отримані рівняння регресії, що дозволяють визначити параметри удару (швидкості удару) в залежності від впливають факторів (маси рухливих частин гідроударного пристрою і тиску газу пневмоакумулятора) і прогнозувати основні параметри гідроударних пристроїв, скорочувати час і розтрати на проведення експериментальних досліджень :

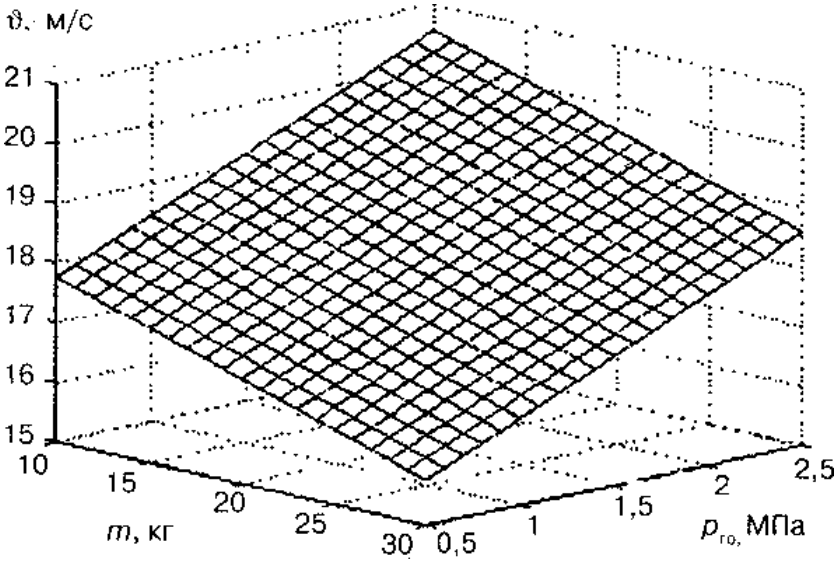
$$v = 6{,}97 - 2{,}11m + 2{,}64mp_{го} - 0{,}38mp_{го} + 0{,}51m^2 - 0{,}92p_{го}^2,$$

де : v – швидкість удару гідро ударника ковша, м/с; m – маса бойка; $p_{го}$- тиск заряду газа пневмоакумулятора, МПа.

Випадок поверхні, побудованої за рівнянням , представлений на рис. 2.2.9 вигляді тривимірного графіка, що дозволяє найбільш повно проілюструвати вплив досліджуваних факторів на швидкість удару.

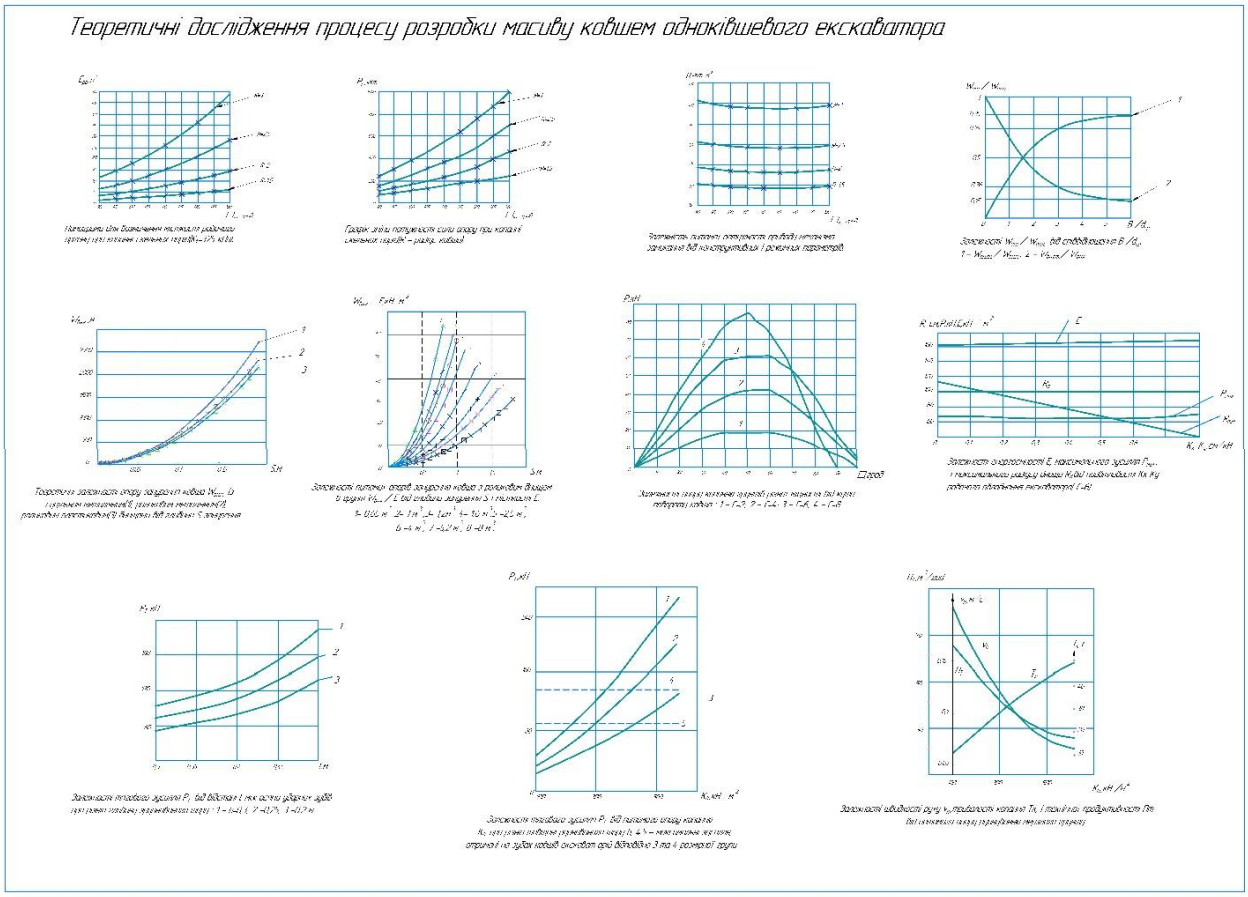
Отримане рівняння регресії і аналіз наведених залежностей показують, що максимальне значення швидкості удару досягається при мінімальній масі бойка і максимальному тиску зарядки пневмоакумулятора гідроударного пристрою [5].

Рисунок 2.2.9 Залежність швидкості удару рухомих частин від маси рухомих частин і тиску зарядки газом пневмоакумулятор



На початковому етапі проектування при визначенні проектних параметрів гідроударних пристроїв ковша активного дії слід користуватися рівнянням регресії, за яким можна визначити вплив конструктивних параметрів гідроударника на швидкість і енергію удару.

Рисунок 2.2.10 Теоретичні дослідження процесу розробки масиву ковшем одноківшевого екскаватора



Висновки :

1. При проектуванні ковшів прямої і зворотної лопати слід враховувати показники мінімальної енергоємності, матеріаломісткості, підвищеної продуктивності та простоту конструкції робочого органу.

2. Існуючі конструкції вітчизняних одноківшевих екскаваторів з найбільшою одиничною потужністю і місткістю ковша по прийнятому узагальненому показнику енергоємності не є оптимальними, що може пояснити їх недостатньо високу ефективність в експлуатації.

3. Необхідно врахувати виявлені закономірності при створенні нових модернізацій даного типу машин, що випускають промисловістю.

Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень

3.1 Мета та методи експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження роботи одноківшевих екскаваторів, як і в польових, так і в стендових умовах, проводяться з метою підтвердження теоретичних висновків.

Найбільш достовірними варто вважати експериментальні дані, отримані при проведенні досліджень екскаватора в представницьких польових або на спеціально обладнаному полігоні.

Разом з тим, цілком прийнятні для інженерних цілей результати можуть бути отримані при дослідженні роботи фізичних моделей екскаваторів в лабораторних умовах, що дозволяють імітувати умови роботи максимально наближені до реальних.

3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання

На даний момент контроль ступеня стирання зубів та їх наявності проводиться так:

1	Під час проведення щозмінний огляд	Під час проведення щозмінний огляд: візуальний огляд ковша, у тому числі зубів на їх наявність та ступінь зношування під час щозмінного огляду машиністом екскаватора (перед початком навантаження).
2	Протягом зміни машиністом	Протягом зміни машиністом: під час навантаження автосамоскида, а також після кожного відвантаженого самоскида (відповідно до «Інструкція машиніста екскаватора»).
3	Гірський нагляд	Гірський нагляд: під час відвідування екскаватора гірничим майстром та механіком ділянки, із записом в агрегатний журнал у разі виявлення зауважень (не рідше 1 разу на зміну).
4	Контроль ходимості	Контроль ходимості: заповнення машиністом ЕКГ чек-листів за фактичною заміною зубів, з наступним розрахунком напрацювання

Заходи реагування у разі виявлення втрати зубів або їх критичного зносу:

1	Карантинна зона	У разі виявлення втрати зубів машиністом екскаватора під час навантаження самоскида або відразу після його повного навантаження, машиніст по рації передає інформацію гірничому диспетчеру і водію самоскида про відвантаження зуба в кузов АС. У свою чергу диспетчер приймає рішення про вивантаження даного АС поруч із вибою екскаватора, з подальшим пошуком загубленого зуба за допомогою пошарового розчищення вивантаженої гірничої маси бульдозером;
2	Viber	При плановій заміні зубів екскаватора, підрядна організація здійснює заміну та вивіз зубів з кар'єру робить фото всієї кількості зубів, які необхідно було демонтувати, та відправляє до спеціальної групи до «Вайбера» (Приклад на фото 1) профільним фахівцям та керівникам з метою підтвердження того, що матеріал вивезений на поверхню та не становить загрози попадання на КПД;
3	Планова заміна	Демонтаж зубів проводиться при стиранні робочої поверхні до критичного значення – 50% (згідно з «Посібником з експлуатації ЕКГ»). Вимір ступеня стирання проводиться машиністом екскаватора та механіком ділянки, з метою планування дати заміни зубів.

Система контролю зубів Shovel Metrics

п\п	Основні переваги Shovel Metrics:	Напрями підвищення ефективності:
1	Миттєве виявлення відсутніх зубів;	Зниження ймовірності попадання недрібних тіл у КПД;
2	Аналіз ступеня зношування зубів (віддалений доступ);	Оптимізація інтервалу термінів заміни зубів;
3	Додаткове відеоспостереження (відсутність сліпих зон);	Аналіз часу корисної роботи екскаватора.
4	Відеореєстрація подій (ємність 3 діб).	

Рисунок 3.2.1 Візуалізація рішення (у кабіні машиніста екскаватора)

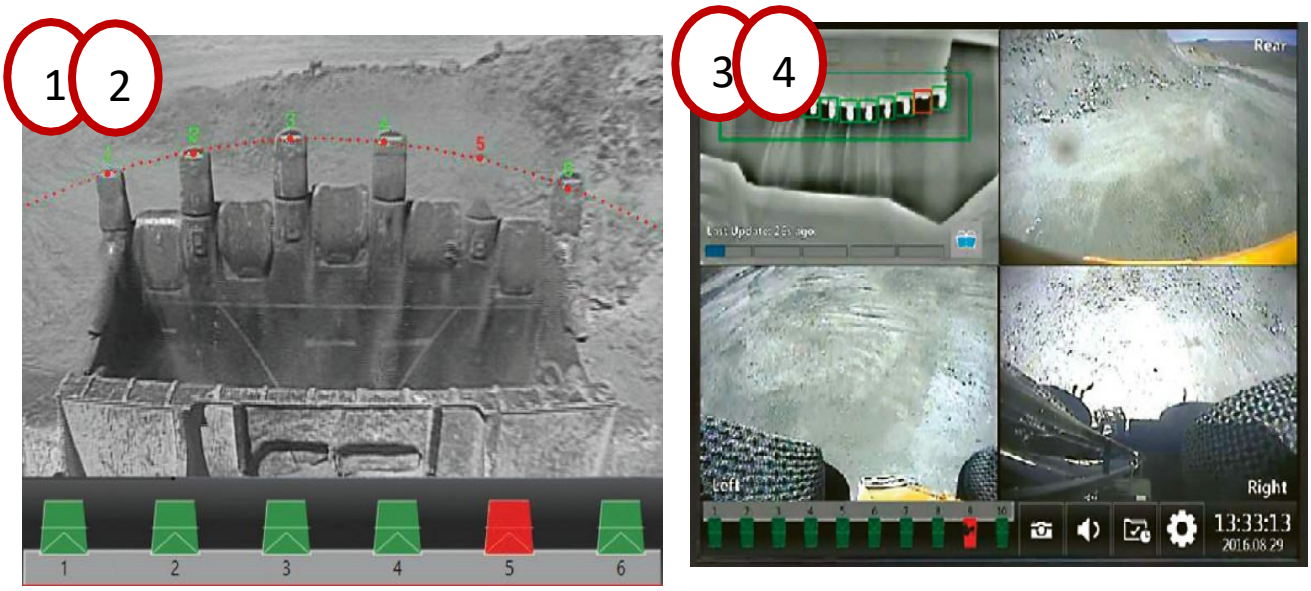
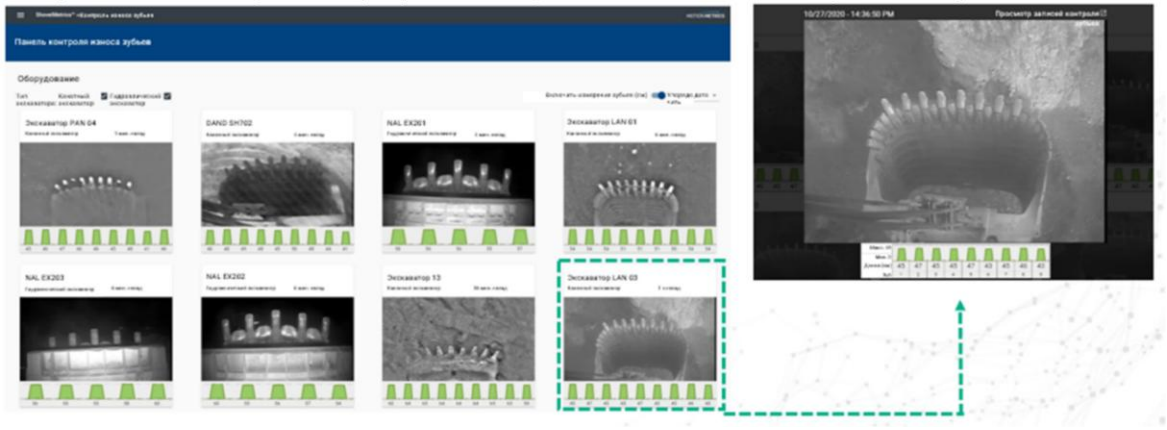


Рисунок 3.2.2 Візуалізація рішення (віддаленого спостереження)



Система контролю зубів Shovel Metrics – це система моніторингу стану зубів екскаватора, яка використовує датчики для вимірювання зносу зубів і тріщин. Ця система може використовуватися для виявлення проблем із зубами на ранніх стадіях, що може допомогти запобігти передчасному зносу або пошкодженню.

ShovelMetricsTM 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.

Система Shovel Metrics складається з двох основних компонентів: датчиків і програмного забезпечення. Датчики встановлюються на зубах екскаватора і вимірюють такі параметри, як овщина зубів, відстань між зубами і тріщини. Дані з датчиків передаються на програмне забезпечення, яке аналізує їх і визначає стан зубів.

Рисунок 3.2.3 Аналіз гранулометричного складу, Виявлення відсутності зубів

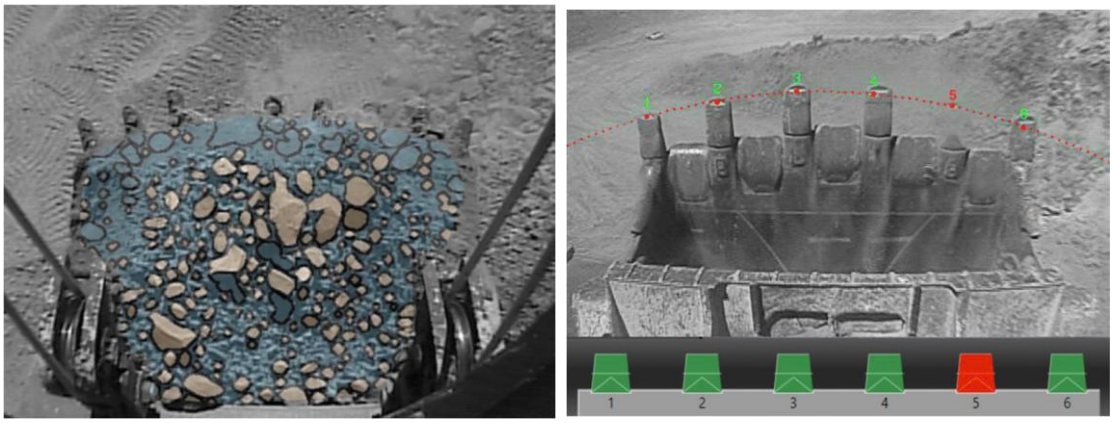
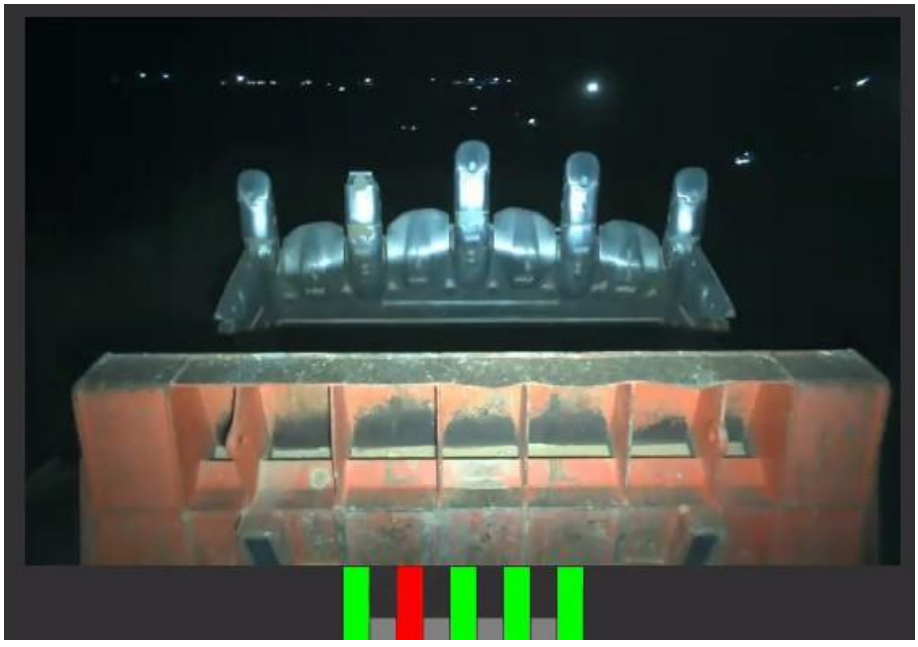


Рисунок 3.2. 4 Моментальне відображення відсутніх зубів ковша вдень

Рисунок 3.2. 5 Моментальне відображення відсутніх зубів ковша вночі



Система Shovel Metrics має ряд переваг, зокрема:

Можливість виявлення проблем із зубами на ранніх стадіях

Зменшення ризику передчасного зносу або пошкодження зубів

Збільшення терміну служби зубів

Зменшення витрат на ремонт та обслуговування

Система Shovel Metrics також має деякі недоліки, зокрема:

Вартість установки та обслуговування

Можливість помилок у вимірюваннях

Можливість впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань

Аналогічні системи контролю зубів екскаватора включають:

3D Shovel Health Monitor від Caterpillar

Z-Scan від Komatsu

SmartBlade від Volvo

Наприклад, компанія Caterpillar пропонує систему 3D Shovel Health Monitor, яка використовує датчики для вимірювання товщі зубів і відстані між зубами. Компанія Komatsu пропонує систему Z-Scan, яка використовує комп'ютерний зір для аналізу зображень зубів. Компанія Volvo пропонує систему SmartBlade, яка використовує штучний інтелект для аналізу даних і виявлення проблем із зубами.

Ця інформація дозволяє отримати уявлення про поточний стан розвитку автоматизації виявлення зносу зубів екскаватора.

Ці системи використовують різні технології для вимірювання зносу зубів, але вони мають подібні цілі та переваги.

3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки

В результаті аналізу технологічного процесу на дільницях добутку руди екскаваторною технікою, було виявлено простої обладнання, по причині злому зубів екскаваторних та через мірного зносу зубів які можуть привести до простою обладнання не тільки екскаваторного, а й попадання зубів до дробильних фабрик, тому доцільно впровадити систему контролю та оповіщення стану зубів екскаваторних в реальному часі. Пропоную встановити на екскаватори обладнання по типу Shovel Metrics або аналогічні існуючі на ринку, також роздивитися для здешевлення, розробку обладнання самостійно, а саме встановлення камери-датчика на стрілу екскаватора, розробку програмного коду зчитування з картинки, систему оповіщення, за допомогою якого можна буде оцінити стан та наявність зубів екскаваторних на ківші.

Коли екскаватор або навантажувач робить виїмку твердою чи погано зруйнованої вибухом гірської маси, значення зусилля, необхідного для її виїмки, є надзвичайно високим, що може призвести до поломки зубів ковша під час роботи. Згодом зламаний зуб може змішатися з рудою, бути занурений у самоскид, а потім транспортований до дробарки. Зуби

екскаватора, виготовлені із загартованої сталі, масою понад 100 фунтів, мають занадто велику твердість, щоб дробарка могла їх подрібнити, і являють собою ризик заклинювання та застопорювання дробарки. [6]

Видалення зуба екскаватора з дробарки може бути вкрай небезпечним. Процедурою, яка вимагає кількох годин простою дробарки та призводить до значних фінансових збитків.

Як уникнути ризиків заклинивання дробарок:

Недроблені об'єкти, такі як поламані зуби екскаваторів, можуть призвести до серйозних збитків і ризиків у гірничодобувній галузі. Події подібного роду можуть призвести до пошкодження обладнання і тривалих зупинок, сповільнюючи виробничі процеси. Застрягання дробарок становить загрозу життю і може бути найбільш витратним етапом.

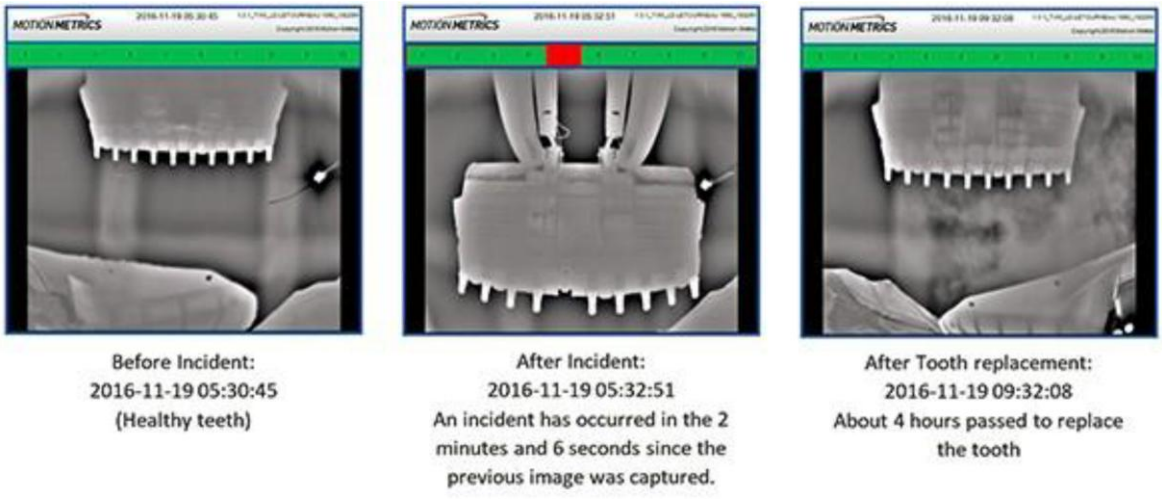
Наприклад, Канада стикалася з трагедіями, пов'язаними з заклинюванням дробарок. У 2014 році в Садбері, Онтаріо, робітник загинув, намагаючись усунути заклинювання дробарки. Подібні події несуть серйозні наслідки для безпеки праці.

Заклинювання дробарки може призвести до травм чи смерті на гірничодобувних підприємствах. Дані свідчать, що нещасні випадки з дробарками є другою за частотою причиною смертей від стаціонарних механізмів у Сполучених Штатах.

Заклинювання виникає, коли об'єкт з вищою міцністю потрапляє в дробарку. Екскаватори можуть ламати зуби ковша, що часто залишається непоміченим через обмежену видимість. Вирішення цієї проблеми вимагає витратного процесу вилучення.

Щоб мінімізувати ризик, необхідно використовувати системи безпеки, такі як ShovelMetrics та LoaderMetrics від Motion Metrics або аналогічні представлені на ринку. Ці системи постійно моніторять стан зубів і попереджують машиніста про проблеми, запобігаючи трагедіям.

Рисунок 3.3. 1 Фіксація аварії за допомогою системи безпеки



Злом зубів не відбуваються кожен день, але підприємства повинні інвестувати в заходи безпеки, щоб уникнути катастрофічних наслідків для охорони праці та виробництва.

Проблеми, пов'язані із зубами ковша:

• Видимість – Через зміну умов видобутку оператори екскаваторів можуть не бачити, що зуб ковша відсутній.

• Систематичність – Система безперервного постійного аналізу стану зубів у режимі реального часу може негайно визначити відсутність зуба, а також на який самоскид він був занурений.

• Безпека – Витяг зуба, що заклинив, з дробарки – вкрай небезпечна операція.

• Простій – З урахуванням того, що відсутність одного зуба може призвести до зупинки дробарки, зменшення ймовірності такої події важливе значення. [6]

Запропоновані покрашення, а саме контроль ступеня зносу зубів дають змогу працівникам планувати заміну зубів у складі планового технічного обслуговування для запобігання простоям та економії грошей та часу.

3.4 Дослідження зношування зубів на ковші

Як правило, машиніст екскаватора не бачить ківш і зуби, перебуваючи всередині кабіни, що ускладнює йому контроль справності та технічного стану робочого обладнання.

Функція виявлення відсутності зубів ShovelMetrics™ допомагає гірничодобувними підприємствам виявити поломку зубів до того, як вони змішаються з рудою в ковші та стануть причиною заклинювання дробарок чи конвеєрів на наступних етапах виробництва.

Екскаватори, як правило, стоять на самому початку процесу вантажних робіт, і будь-які зміни у продуктивності можуть мати значні негативні наслідки для наступних технологічних процесів.

Шляхом обробки відеокадрів камери огляду ковша функція виявлення відсутності зубів ShovelMetrics™ в режимі реального часу виявляє поломку або відсутність зубів ковша та адаптерів. У разі аварії машиністу через екран у кабіні надсилається звуковий та візуальний попереджувальний сигнал. На екрані вказується який зуб відсутній, а також коли сталася поломка, щоб машиніст міг визначити, якому самоскиді знаходиться зламаний зуб і запобігти його попаданню в подальш обладнання.

Недрібні предмети в дробарці є серйозним ризиком охорони праці на гірничодобувних підприємствах. Дані аварії не лише призводять до пошкодження дорогого обладнання та тривалих простоїв, а й піддають працівників підприємства дії величезного накопиченого зусилля під час усунення застопорювання. Стопоріння може призвести до серйозних травм або смерті. У 2014 в Онтаріо (Канада) на гірничодобувному

підприємстві при спробі усунути заклинювання загинув робітник. Нещасний випадок зі смертельним наслідком також спричинив штраф у розмірі 1 млн. дол. Хоча всеосяжних статичних даних для Канади відсутні, американські дослідники з Національного інституту охорони праці та промислової гігієни встановили, що нещасні випадки при роботі з дробарками є другою за поширеністю причиною смертельних. результатів через стаціонарні машини на гірничодобувних підприємствах у Сполучених Штатах. [7]

Переваги з точки зору економії витрат при впровадженні системи виявлення відсутності зубів ShovelMetrics™ різняться залежно від типу операцій, але як правило, система окупається за рахунок запобігання лише одному нещасному випадку. На прикладі золотодобувного підприємства в Канаді було встановлено, що заклинювання дробарки, викликане зламаним зубом, призводить до простою не менше чотирьох годин. З урахуванням вмісту металу в руді в кількості 0,05 унції/т та середньої вартості золота в розмірі 1290 дол. за 1 тройську унцію, золотодобувне підприємство з одним дробарком продуктивністю 40 тис. т руди на добу за добу переробляє руду вартістю 2,58 млн. дол. США. Таким чином, чотири години простою означають зниження виробництва на 6,6 тис. тонн, що еквівалентно 430 тис. доларів США за кожного випадку аварії. При цьому не враховуються ризики охорони праці, пов'язані з вилученням зуба з дробарки, що заклинила. Аналогічним чином, медодобувне підприємство у Швеції може запобігти виробничим втратам на сотні тисяч у кожному випадку аварії, встановивши систему виявлення відсутності зубів ShovelMetrics™. З урахуванням вмісту металу в руді у кількості 0,28% та середньої вартості міді у розмірі 2,75 дол./фунт, медодобувне підприємство з одним дробарком продуктивністю 12 тис. т руди на добу за добу переробляє руду вартістю 200 тис. дол. . У даному випадку зламаний зуб, що заклинив дробарку, привів до 36 годин простою, що означає виробничі втрати, рівні на 350 тис. доларів США.

3.5 Контроль зношування зубів

Ковші екскаваторів оснащені спрацьованим робочим обладнанням для переміщення гірської маси; сюди відносяться загартовані металеві зуби, схильні до регулярного зносу і підлягають заміні внаслідок тривалого контакту з абразивним матеріалом. Продовження роботи з надмірно зношеними зубами екскаватора знижує ефективність і призводить до збільшення зусиль різання, збільшення часу заповнення, пошкодження ковша, а також підвищення ймовірності поломки зубів. Традиційні методи контролю зношування зубів вимагають від працівників гірничодобувних підприємств фізичного виміру довжини кожного зуба, що є дорогим процесом, що вимагає економічно неефективного простою.

Контроль зношування зубів на основі зображень за допомогою особливо міцної камери, встановленої на стрілі екскаватора, усуває

необхідність у трудомістких ручних вимірах за рахунок постійного контролю зношування зубів екскаватора та розрахунку терміну планових замін. Важливим етапом в даному методі є розпізнавання ріжучої частини зубів, а також ряду інших опорних точок, що не зношуються, всередині ковша для розрахунку довжини і зносу робочого обладнання. Надійне автоматичне визначення розташування ріжучої частини зубів і опорних точок є вкрай складним через умов освітленості, різної геометрії ковша та зубів, а також наявності гірської маси на робочому органі.

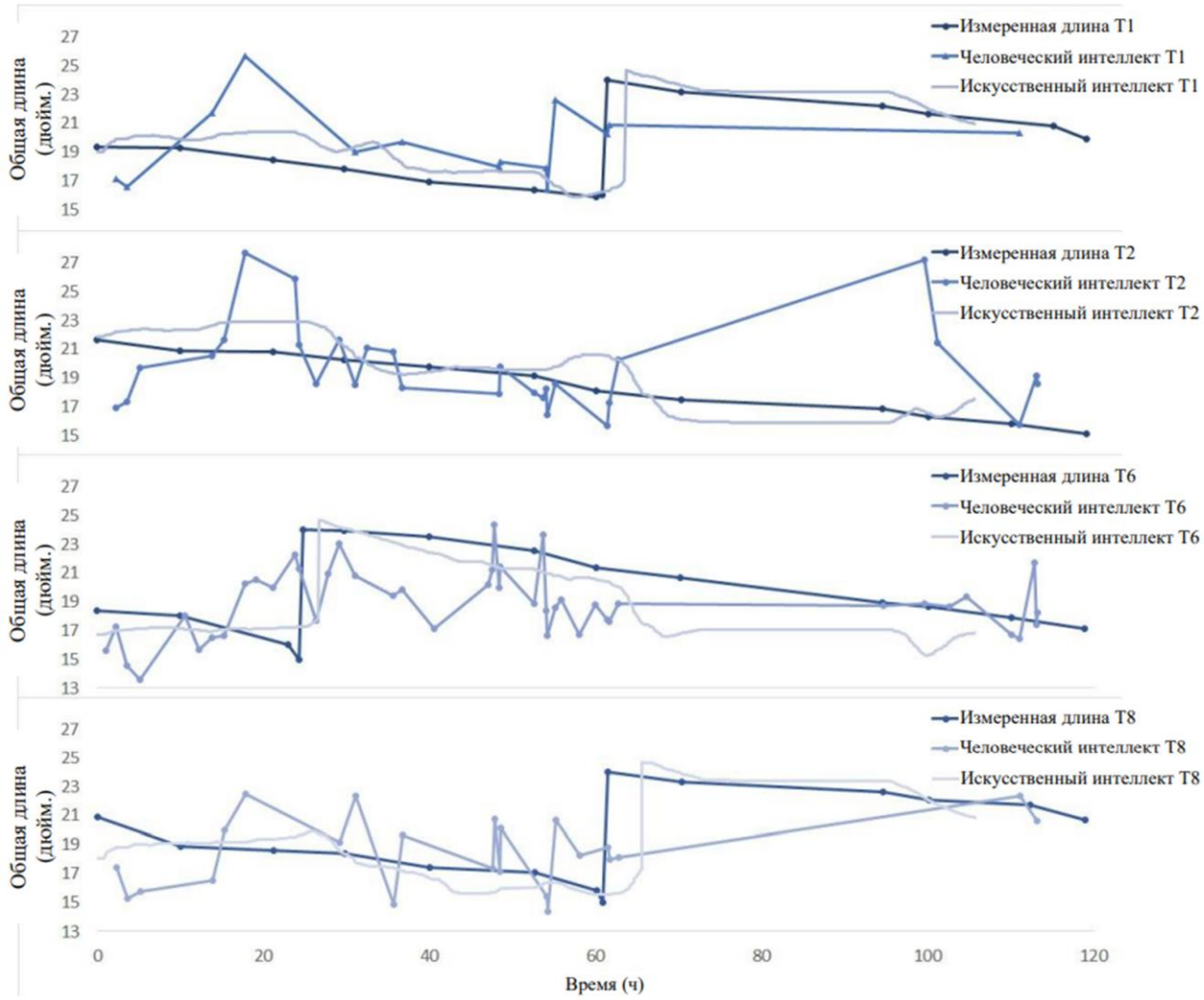
Для оцінки запропонованого рішення для контролю зношування на основі зображень ми отримали відеозображення, зроблені на гірничодобувному підприємстві на півночі Канади протягом шести днів. За цей період було виконано заміну зубів №№5, 6, 9 через 19 годин після початку експлуатації, а зубів №№1, 3, 4, 7, 8 – через 55 годин після початку роботи. При реалізації автоматичного методу на основі ІІ була використана вбудована система для формування журналів з чіткими зображеннями ковша, які потім передавалися на платформу мережі Інтернет для подальшої обробки.

Щоб порівняти точність методу на основі ІІ з людиною, останнього попросили переглянути відеозаписи за шість днів, вибрати одне зображення за годину та виміряти відстань від зуба до ріжучої кромки ковша. Для перетворення відстані в пікселях у фізичні одиниці для кожного зуба вимірювалася відстань між ріжучою кромкою килимом і опорною точкою.

На рис. 1 показані приклади результатів із використанням трьох методів для зубів №№1, 2, 6, 8 за шість днів роботи. Як показано на цьому малюнку, методи, засновані як на людському, і на штучному інтелекті, відрізняються від достовірних фізичних вимірів. Одна з причин цієї проблеми полягає в тому, що ковші в різних положення на різних зображеннях не розташовувалися перпендикулярно камері огляду ковша. Це пов'язано з «завалюванням», оптичною ілюзією, яка змушує відстань здаватися коротшою за фактичний через ракурс чи кут зору. На цьому малюнку видно, що метод, заснований на людському інтелекті, набагато чутливіший до цього фактора. Метод на основі ІІ легко відфільтровує відеокадри зі схожими положеннями ковша з безлічі зображень, у той час як для людини це є трудомістким завданням.

Крім того, підхід, заснований на ІІ, може обробляти набагато більше зображень та забезпечувати плавніші криві, ніж людський інтелект. За рахунок присвоєння міток набагато більшій кількості зображень та їх спільному усередненню якість результатів, забезпечених людським інтелектом, підвищується; при цьому присвоєння міток кожному зображенню та запис результатів займає у людини близько 2-4 хвилин, що можна вважати трудомістким заняттям, особливо при роботі на великій кількості машин на кількох підприємствах.

Рисунок 3.5.1 Визначення довжини зубів шляхом фізичних вимірювань, контроль зношування зубів №1, 2, 6, 8 за допомогою штучного та людського інтелекту на основі зображень, отриманих протягом шести днів експлуатації



Motion Metrics також було проведено аналогічне дослідження на залізодобувному підприємстві у 2015 р. Підприємство встановило систему контролю зношування зубів ShovelMetrics™ на екскаваторі Caterpillar з канатним підйомом. Система використовувалася для постійної оцінки стану зубів, аналізу зношування, розрахунку часу напрацювання на відмову, а також збору даних із заміни зубів з метою її оптимізації. Система забезпечує централізоване зберігання всієї інформації у базі даних підприємства міста і надає користувачам доступом до історичним даним через мережевий інтерфейс як реального часу. [9]

При обсязі виробництва 39 420 тонн на добу, середньому часі заміни 47 хвилин та чистого прибутку 20 дол. США/т, виробничі втрати через позапланову заміну зубів, за оцінками, становлять 28505 доларів США. Хоча позапланові заміни іноді практично неминучі, їх можна значно скоротити за умови правильного планування, оптимальних інтервалів заміни та постійного контролю зносу зубів. У цьому випадку система контролю зношування зубів ShovelMetrics™ була визнана відповідною заміною ручному виміру зносу зубів. Система може вимірювати довжину

зубів набагато частіше, ніж люди, і розрахунок терміну заміни зубів за чотири дні до заміни3 був точним.

Більш ранні дослідження також підтверджують значення аналізу ступеня зношування зубів для прогнозування оптимальних інтервалів заміни. Наприклад, на прикладі мідівидобувного підприємства Моренсі в Аризоні, США, загальна вартість планової заміни зубів оцінюється в 3000 доларів США, виходячи з припущення про відсутність виробничих втрат, тому що заміна зубів буде запланована в один термін з іншими плановими та супутніми заходами з технічного обслуговування. Для порівняння, середні розрахункові виробничі втрати внаслідок позапланової заміни зубів становлять 38 368 дол. США; якщо додати до цієї суми вартість матеріалів та трудові витрати, загальна вартість позапланової заміни комплекту зубів складе, оцінок, 41 368 дол. США [10]. Очевидно, що значних простоїв можна уникнути, впровадивши заходи щодо заміни зубів з урахуванням зносу, що спостерігається.

3.6 Витягання особливих точок за допомогою ShovelmetricsTM - традиційні методики комп'ютерного зору порівняно з глибоким навчанням

Класифікація пікселів для виділення особливих точок на вхідному зображенні є важливим завданням при використанні функцій виявлення відсутності зубів, контролю зносу зубів, визначення фрагментації ShovelMetrics™. На цьому етапі обробки відеокадрів алгоритм виявляє зуби, кромки зубів, корпус ковша, а також інші об'єкти, що цікавлять, характерні для даного типу екскаватора. У цьому розділі порівнюється метод класифікації пікселів, який використовується старим алгоритмом, з нашою новою архітектурою глибокої нейронної мережі.

Колишній алгоритм визначення місця розташування зубів ковша екскаватора використовує традиційні методи комп'ютерного зору. По-перше, на відеокадрі запускається алгоритм оптичного потоку визначення розташування рамки, що обмежує ківш екскаватора. Оптичний потік відноситься до видимого руху об'єкта на зображенні, а наш алгоритм оцінює величину переміщення між двома відеокадрами у пікселях. У випадку ковша екскаватора ShovelMetrics™ використовує оцінку оптичного потоку для визначення розташування ковша на фоні, що рухається.

Потім використовуються калібрувальні дані, щоб грубо намалювати обмежувальну рамку навколо кожного зуба. Під калібрувальними даними мається на увазі відома інформація про тип ковша та зубів екскаватора даної конструкції. Щоб точніше визначити розташування зубів, обмежувальна рамка повертається, трансформується і масштабується з визначенням максимальної кореляції за допомогою шаблону зуба.

Потім відеокадри усереднюються, щоб збільшити відношення сигнал/шум. Відношення сигнал/шум визначає відношення рівня

необхідного сигналу (значущої особливої точки) до рівню небажаного шуму фону в конкретному відеокадрі. Середня все більше відеокадрів, ми поступово згладжуємо випадкові флуктуації вище або нижче фактичних даних у відеокадрі; цей процес залежить від припущення, що шум зображення у кадрах справді випадковий. Усереднення відеокадрів завершується після того, як процес перестає давати помітну різницю у шумоподавленні.

Нарешті, виконується бінаризація зображення, щоб відокремити об'єкти (зуб'я), що цікавлять, від фону. Двійкове зображення має одне з двох можливих значень для кожного пікселя – одне для позначення переднього плану (тобто об'єкта, що цікавить), інше – для позначення фону. Створення двійкового зображення передбачає заміну значень менше заданого глобального граничного значення на 0, інших – на 1.

Завдяки глибокій нейронній мережі спрощується класифікація за пікселями та визначення місця розташування зубів ковша екскаватора. Наш новий алгоритм глибокого навчання ShovelMetrics™ аналізує кожен відеокадр для визначення ймовірності того, що даний піксель є об'єктом, що цікавить, а потім сегментує зображення відповідним чином.

Для ознайомлення з об'єктами, що цікавлять, мережа навчається на зображеннях, помічених вручну. Наприклад, спеціаліст з обробки даних позначає відеокадри, зняті камерою огляду ковша, вказуючи, які ділянки ковша слід відносити до частин кромки зубів, корпус ковша або фону. Важливо зібрати достатню кількість різноманітних помічених навчальних зображень для обліку різних умов освітленості та інших умов довкілля, різних масштабів, типів відеокадр камер огляду ковша; Чим більша різноманітність зображень, на яких навчається мережа, тим краще її розрахунки. Частина зображень, помічених вручну, використовується для навчання мережі, а інша частина резервується для валідизації мережі та оцінки ефективності навчання.

Важливо відзначити, що архітектура нейронних мереж, не вимагає введення калібрувальних даних або додаткового кодування для обліку відмінностей у типах ковшів і зубів, умовах освітленості, ракурсах і т. д. Їй необхідно лише досить велика різноманітність навчальних даних , щоб врахувати всі можливі випадки застосування.

РОЗДІЛ 4. Розділ з економіки

4.1 Економічні розрахунки непланових простоїв технологічного обладнання

Таблиця 4.1.1 Вхідні дані

Вхідні дані для розрахунку економічного ефекту	Кількість	Одиниця виміру
Ціна зуба екскаваторного	19661,72	грн
Вартість послуги заміни одного зуба підрядником	1577	грн\штука
Замін зубів позапланово у 2023 році	24	шт
Середня тривалість заміни зубів позапланово у 2023 році	1,73	години
Тривалість простою екскаваторного парку по причині непланових замін зубів у 2023 році	41,48	годин
Годинний видобуток руди екскаватором	723,2	т\годину
Годинна собівартість видобутку руди екскаватором	93,1	грн\тонна
Простої дробильних фабрик через влучення зубів	8,5	годин
Годинне подрібнення руди дробильною фабрикою №1 (КРД 700/1002 спарені дробарки)	1760	т\годину
Годинна собівартість подрібнення руди дробильною фабрикою №1	20	т\годину

4.2 Розрахунок економічних втрат при неплановій заміні зубів екскаваторних

Розрахунок вартості позапланової заміни зубів екскаваторних:

Вартість одного зуба екскаваторного = 19661,72 грн

Вартість послуги заміни одного зуба підрядником = 1577 грн

Вартість позапланової заміни одного зуба екскаваторного = 19661,72 + 1577 = 21238,72 грн.

Вартість позапланової заміни всіх зубів екскаваторних у 2023 році = 21238,72 24 = 509725,28 грн.

Розрахунок втрат від простою екскаваторного парку:

Тривалість простою екскаваторного парку по причині непланових замін зубів у 2023 році = 41,48 год

Годинний видобуток руди екскаватором = 723,2 т/год

Годинна собівартість видобутку руди екскаватором = 93,1 грн/т

Втрати від простою екскаваторного парку по причині непланових замін зубів у 2023 році = 41,48 723,2 93,1 = 2944451,76 грн

Розрахунок загальних втрат:

Загальна вартість позапланової заміни зубів екскаваторних у 2023 році = 509725,28 грн

Втрати від простою екскаваторного парку по причині непланових замін зубів у 2023 році = 2944451,76 грн

Загальні втрати при неплановій заміні зубів екскаваторних у 2023 році = 509725,28 + 2944451,76 = 3454177,04 грн

Висновки

Непланова заміна зубів екскаваторних є значною економічною проблемою для підприємств гірничодобувної галузі. Загальні втрати при неплановій заміні зубів екскаваторних у 2023 році склали 3454177,04 грн.

Основні причини втрат:

Вартість позапланової заміни одного зуба екскаваторного є високою.

Тривалість простою екскаваторного парку по причині непланових замін зубів також є значною.

Ось деякі заходи, які можна вжити для зменшення економічних втрат:

- Автоматизація процесу огляду зубів та раннє попередження виходу зі строю зубів екскаваторних
- При виявленні зносу зуба виконувати планування заміни під час регламентного ТО
- Використання високоякісних зубів екскаваторних
- Регулярний огляд зубів екскаваторних на предмет поломок
- Використання сучасних технологій для ремонту зубів екскаваторних
- Впровадження заходів щодо підвищення безпеки праці на екскаваторах

4.3 Розрахунок економічних втрат при попаданні зубів екскаваторних до дробильної фабрики

Розрахунок втрат від простою дробильного обладнання:

Годинна собівартість подрібнення руди дробильною фабрикою №1 = 20 грн/т

Годинне подрібнення руди дробильною фабрикою №1 = 1760 т/год

Тривалість простою дробильної фабрики через влучення зубів екскаваторних = 8,5 год

Втрати від простою дробильного обладнання по причині попадання зубів екскаваторних у дробильну машину = 20 1760 8,5 = 2902400 грн

Загальні втрати

Загальні втрати при попаданні зубів екскаваторних у дробильну машину у 2023 році = 2902400 грн

Висновки

Падіння зубів екскаваторних у дробильну машину є значною економічною проблемою для підприємств гірничодобувної галузі. Загальні втрати при попаданні зубів екскаваторних у дробильну машину у 2023 році склали 2902400 грн.

Основні причини втрат:

Зниження продуктивності дробильного обладнання.

Збільшення собівартості дробленої руди.

Для зменшення економічних втрат необхідно вжити заходів щодо запобігання попаданню зубів екскаваторних у дробильну машину.

Ось деякі заходи, які можна вжити для зменшення економічних втрат:

- На попередніх етапах технологічного процесу впровадити систему автоматизації процесу огляду зубів та раннє попередження виходу зі строю зубів екскаваторних
- При виявленні зносу зуба виконувати планування заміни під час регламентного ТО
- Використання спеціальних уловлювачів зубів екскаваторних на дробильних машинах.
- Регулярний огляд дробильного обладнання на предмет пошкоджень.
- Впровадження заходів щодо підвищення безпеки праці на дробильних машинах.

Таким чином, загальні втрати при неплановій заміні зубів екскаваторних та попаданні їх до дробильної фабрики у 2023 році склали 3454177,04 + 2902400 = 6356577,04 грн.

Для зменшення цих втрат необхідно вжити заходів щодо підвищення якості зубів екскаваторних та зниження частоти їх поломок, а також щодо запобігання попаданню зубів екскаваторних у дробильне обладання.

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 картинки 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 оснащене 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.

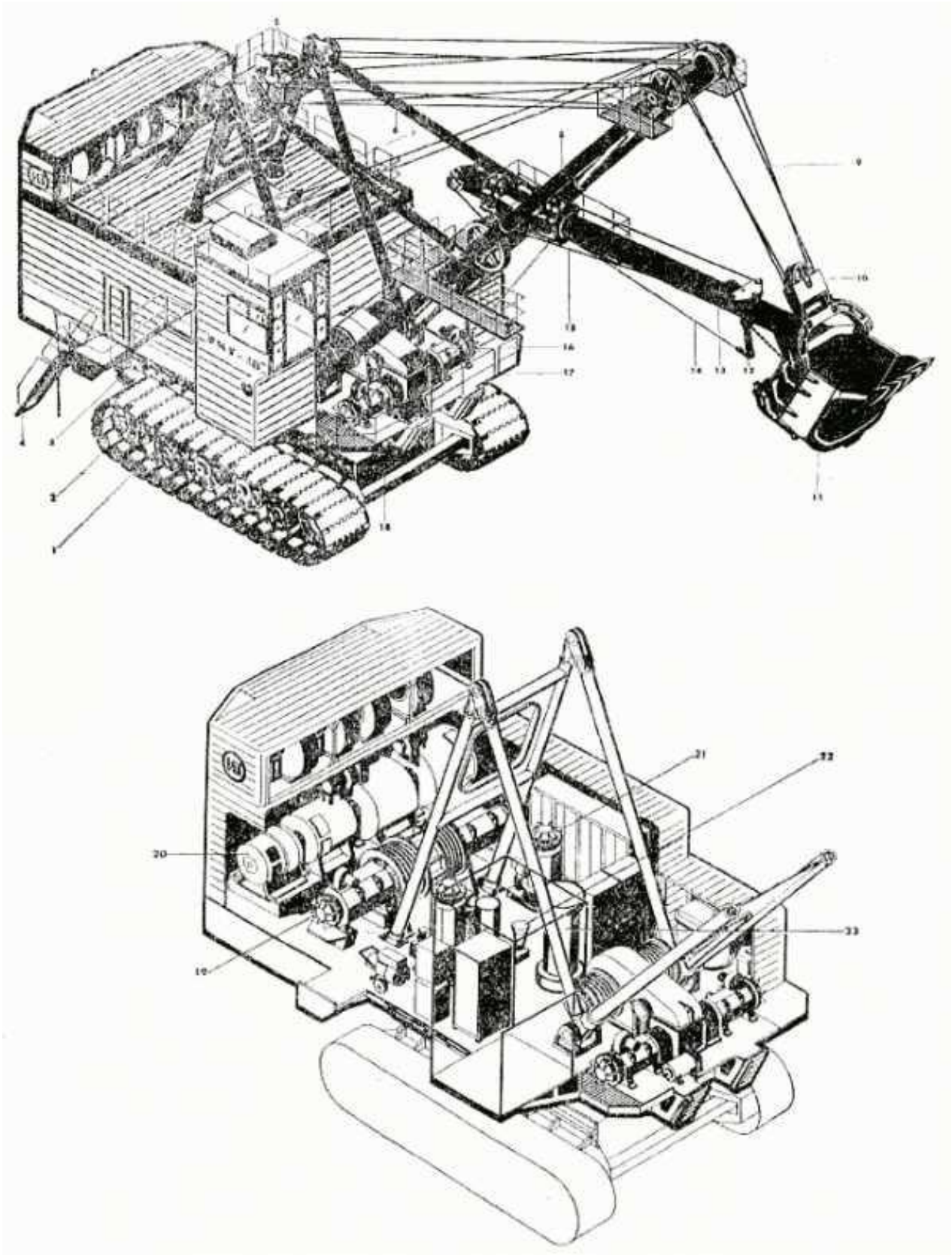
Екскаватори, як правило, стоять на самому початку процесу вантажних робіт, і, як наслідок, будь-які зміни у продуктивності можуть стати початком ланцюгової реакції для наступних технологічних процесів та ефективності. Завдяки ретельному контролю цього обладнання за допомогою такої системи, як ShovelMetrics™,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

Література:

1. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004. — Т. 3. — 752 с. — ISBN 966-7804-78-X.
2. Бюлетень «Інтерфакс-Економіка» від 05.05.2010. — Київ. ІА «Інтерфакс-Україна». 2010 р.
3. "Automated Tooth Wear Detection for Excavators", by R.K. Singh, P.K. Agrawal, and K.K. Agrawal, published in the journal "Journal of Construction Engineering and Management" in 2021.
4. "A Review of Automated Tooth Wear Detection Methods for Excavators", by M.T. Ali, J.M.A. Elshafie, and M.A. El-Sherif, published in the journal "Journal of Mechanical Engineering and Automation" in 2020.
5. "The Use of Artificial Intelligence for Tooth Wear Detection in Excavators", by M.M. Azab, M.A. El-Sherif, and M.T. Ali, published in the journal "International Journal of Construction Engineering and Management" in 2022.
6. Хуей, Вів'єн. (27 травня 2014 р.). Motion Metrics: Огляд продукції для виявлення відсутності зубів екскаватора.
URL: http://miningenginerd.com/?p=347
7. Motion Metrics International Corp. (2017, 1 травня). Як уникнути шкоди та ризику заклинювання дробарок. Дата відвідування: 3 травня 2018 р. URL:
http://www.canadianminingjournal.com/features/avoid-cost-risk-jammed-crusher/
8. Motion Metrics International Corp. (n.d.). Практичний досвід визначення відсутності зубів під час контролю екскаваторів. Дата відвідування: 4 травня 2018 р. URL: http://www.motionmetrics.com/esp_shovels-missing-tooth-case-study/
9. Зен, Х. (2015). Правильна заміна зубів. Світова вугледобувна промисловість (грудень). Дата відвідування: 6 травня 2018 р. URL: https://www.energyglobal.com/magazine/world coal/december-2015/.
10. Найтс, П. Ф. (2009). Оптимальні інтервали заміни зубів ковшів екскаваторів. Міжнародний журнал гірничодобувної промисловості, меліорації та навколишнього середовища , 157-167.
11. Motion Metrics International Corp. (n.d.). Практичний досвід визначення фрагментації контролю екскаваторів. Дата відвідування: 5 травня 2018 р. URL:
http://www.motionmetrics.com/esp_shovels-fragmentation-case-study/

Додаток 1

Рисунок 1.1 Схема екскаватора ЕКГ-10. Каталог запчастин / ЕКГ-10



Додаток 2

Таблиця 1.1 Каталог запчастин

Каталог запчастин / 3536.00.00.000 для ЕКГ-10				
Номер	**Найменування**	**№ креслення**	**Кол-во**	**вага, кг**
1	Кабіна машиніста	3501.18.00.000	1	2420
2	Візок ходовий	3536.05.00.000	1	124000
3	Встановлення кабельного барабана	3536.28.00.000	1	1750
4	Сходи вхідні	3532.17.00.000	1	161
5	Канат L = (150/+1)m 13,0-Г-В-Л-О-Н-1770	3536.00.00.002	1	92
6	Підвіска стріли	3536.24.00.000	1	5270
7	Стійка двонога	3536.12.00.000	1	7000
8	Стріла	3536.03.00.000	1	26600
9	Канат 45,5-Г-В-О-Н-1770	3536.00.00.003	1	1085
10	Підвіска ковша	3519.21.00.000	1	4215
11	Ківш 10 м. куб.	3536.01.00.000	1	16200
12	Механізм відкривання днища ковша	3536.04.00.000	1	144
13	Рукоять	3536.38.00.000	1	11300
14	Канат L = (18/+0,2)m 13,0-Г-В-Л-О-Н-1770	3536.00.00.001	1	11
15	Канат L = (41/+0,5) m 52,0-Г-В-О-Н-1770	3536.00.00.004	2	486
16	Лебідка натиску	3536.10.00.000	1	18300
17	Платформа поворотна	3536.13.00.000	1	35800
18	Коло роликове	3536.07.02.000	1	3380
19	Лебідка підйому	3536.09.00.000	1	15000
20	Електроустаткування	3536.99.00.000	1	46310
21	Привід механізму повороту	3536.11.00.000	1	6850
22	Система пневматична та змащення	3536.14.00.000	1	1370

Додаток 3

Таблиця 2.1 Технічні характеристики ЕКГ-10

Технічні характеристики екскаватора ЕКГ 10 і його модифікацій ЕКГ-5у І ЕКГ-8ус					
параметри	ЕКГ-10	ЕКГ-10м	ЕКГ-8ус	ЕКГ-5у	ЕКГ-5,2у
Основного ковша, м3	10	11,5	8	5	5,2
Місткість змінного ковша, м3	8,0; 12,5; 16,0	–	–	–	–
Розрахункова тривалість циклу, сек.	26	26	28	30	30
Найбільше зусилля на підвісці ковша, кН (тс)	980 (100)	1078 (110)	780 (79,6)	490 (50)	490 (50)
Номінальна потужність мережевого двигуна, кВт	800	800	800	800	800
Номінальна потужність трансформатора, кВА	160	160	160	160	160
Напруга мережі (3-х фазна, 50 Гц), В	6000	6000	6000	6000	6000
Швидкість пересування, км / год	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Найбільший здолати кут підйому, радий (град)	0,2 (12)	0,2 (12)	0,2 (12)	0,2 (12)	0,2 (12)
Середнє питомий тиск на грунт (1100 мм ланки), кПа	313	316	320	306	306
Середнє питомий тиск на грунт (1400 мм ланки), кПа	224	226	230	218	218
Робоча маса з ковшем, т	395	402	405	386	386
Маса основного ковша, т	16,2	19,5	14,4	8,6	8,6
Маса противаги, т	45-50	55-60	55-60	45-50	45-50