

## Галузеве машинобудування

УДК 621.926.2

DOI: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0301>**Євген Міщук,**

доктор філософії в галузі технічних наук,  
доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7850-0975>  
E-mail: [mischuk.ieo@knuba.edu.ua](mailto:mischuk.ieo@knuba.edu.ua)

### ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ НАВІСНИХ ДРОБИЛЬНИХ КІВШІВ

**АНОТАЦІЯ.** Зниження енерговитрат стало одним із основних напрямків дослідження у сфері машин для виробництва будівельних матеріалів. Вирішення проблеми, пов'язаної з визначенням енергозатрат, є складним завданням, оскільки ці витрати залежать від багатьох факторів, які змінюються протягом роботи машини і важко піддаються точному описанню. Розвиток енергоефективних дробильних машин є одним із напрямків вдосконалення технологій виробництва будівельних матеріалів. В зв'язку з потребами переробки застарілих будівель в умовах щільної міської забудови набувають широкого розповсюдження навісні робочі органи. Одним із таких навісних робочих органів є дробильний ківш. На основі аналізу останніх досліджених встановлено перспективність навісних дробильних ківшів. В роботі розглянуто основні конструкції дробильних ківшів, які випускаються промисловістю. Виконана критеріальна оцінка по основним параметрам дробильних ківшів на основі якої встановлені перспективні моделі для подальшого дослідження. Представлена 3d модель дробильного ківша та рівняння руху для визначення основних параметрів.

**Ключові слова:** Дробильний ківш, енергоефективність, частота, амплітуда, гідропривід, критеріальна оцінка, рівняння руху.

### EVALUATION AND ANALYSIS OF MOUNTED CRUSHING BUCKETS

**ABSTRACT.** Reducing energy consumption has become one of the main directions of research in the field of machines for the production of building materials. Solving the problem related to the determination of energy costs is a difficult task, since these costs depend on many factors that change during the operation of the machine and are difficult to accurately describe. The development of energy-efficient crushing machines is one of the areas of improvement of construction materials production technologies. In connection with the needs of reworking old buildings in the conditions of dense urban development, mounted working bodies are becoming widespread. One of such attached working bodies is a crushing bucket. On the basis of the analysis of the last researched, the prospects of the hinged crushing buckets were established. The work considers the main designs of crushing buckets produced by the industry. Criterion assessment of the main parameters of crushing buckets was carried out, based on which promising models for further research were established. The 3d model of the crushing bucket and the equation of motion for determining the main parameters are presented.

**Keywords:** Crushing bucket, energy efficiency, frequency, amplitude, hydraulic drive, criterion evaluation, equation of motion.

**1. Постановка проблеми.** В зв'язку з потребами переробки застарілих будівель в умовах щільної міської забудови набувають широкого розповсюдження навісні робочі органи. Одним із таких навісних робочих органів є дробильний ківш екскаватора, в деяких джерелах

зустрічається назва навісна дробарка. На сьогодні широкого розповсюдження отримали навісні дробильні ківши виконані по схемі цокової дробарки. Дробильні ківши використовуються для дроблення та переробки матеріалів на будівельних майданчиках. Вони можуть бути встановлені на різні типи будівельної техніки. Поширеними типами будівельної техніки для застосування дробильних ківшів є екскаватори та навантажувачі.

Основне напрямками де використовуються навісні дробильні ківші є: 1) переробка будівельних відходів, включаючи бетон, цеглу, асфальт, кераміку, скло тощо; 2) переробка залізничних шпал, а також інше бетонні вироби та матеріали інфраструктури, включаючи магістралі, дороги, тротуари тощо; 3) переробка природного каменю в кар'єрах, шахтах, гравійних кар'єрах і річкового гравію.

При дослідженні основних конструкцій дробильних ківшів необхідно приділити значну увагу їх технологічним можливостям, ефективності та факторам, які впливають на зниження енерговитрат, оптимізацію виробничих процесів, конструкційні особливості ківшів, а також оцінці їхньої продуктивності та енергоефективності [8].

До переваг дробильних навісних ківшів можна віднести: 1) значну продуктивність, яка впливає на рентабельність в порівнянні із стаціонарними або пересувними дробильними машинами; 2) гнучкість у використанні за рахунок можливості встановлення на різні моделі екскаваторів та навантажувачів [9].

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальні переваги дробильних ківшів відносно стаціонарних дробильних машин поверхнево розглянуто в роботі [1]. Проте основною метою досліджень в роботі [1] є визначення напружень та деформацій методом кінцевих елементів при різних частотах власних коливань. Результатом досліджень в роботі [1] наводиться графік для визначення раціональних частот коливань дробильного ківша. На основі даних з графіка пропонується встановлення демпферів для зменшення власних частот коливань та дисипації накопиченої енергії. В джерелі [2] наведе інструкція по вибору дробильних ківшів компанії Epiroc. Недоліком даної інструкції є невелика кількість технічних даних та розгляд однотипних дробильних ківшів. В джерелах [3] та [4] наведені конструктивні особливості навісних дробильних ківшів компаній Epiroc та Evo-Crusher. На основі даних по моделям ківшів та їх експлуатації, що наведені в джерелах [3] та [4] можна зробити висновок про значні відмінності в конструкціях, що свідчить про актуальність даного напрямку досліджень, відсутності класифікації ківшів та відсутності оптимальної конструкції. В джерелі [5] представлено порівняння дробильних навісних ківшів та мобільних дробильних установок на основі якого встановлено перспективність використання дробильних ківшів на невеликих кар'єрах або в стиснених умовах переробки будівельних матеріалів. Одною із поширених проблем яка виникає під час видобутку та переробки будівельних матеріалів є оптимізація роботи обладнання та матеріалопотоків [10]. Так в джерелі [6] досліджуються методи організації роботи механічного обладнання з метою підвищення продуктивності та зниження простоїв обладнання. Тут слід зазначити, що використання дробильного навісного ківша значно підвищила б ефективність роботи такого кар'єру. В цілому слід зазначити, що для визначення енергоефективності дробильних ківшів можна використовувати аналогічні залежності, як для стаціонарних дробарок [7].

**3. Мета роботи.** Основною метою роботи є: 1) аналіз та оцінка конструкцій навісних дробильних ківшів, що застосовуються у будівельній та гірничодобувній промисловості; 2) на основі критеріальної оцінки по основним параметрам, визначити найбільш оптимальні

конструкції для сучасних умов будівництва та переробки будівельних матеріалів; 3) створення 3d моделі дробильного ківша та визначення робочого процесу.

**4. Обговорення результатів дослідження.** дробильних навісних ківшів є: 1) значна продуктивність, яка впливає на рентабельність в порівнянні із стаціонарними або пересувними дробильними машинами. В цілому на сьогодні виробництвом виготовляється декілька типів дробильних ківшів. Схематично принцип роботи поширених типів ківшів відображено на рис. 1.

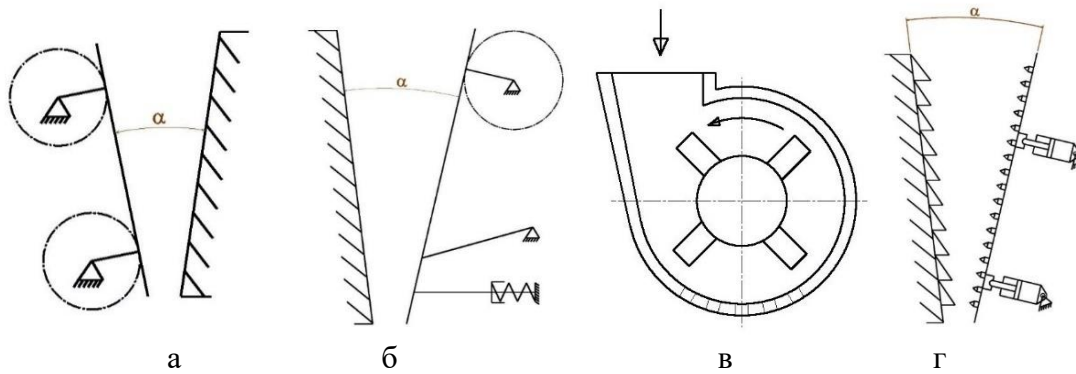


Рис. 1. Схеми основних типів дробильних ківшів:

а – ексцентрикового типу з двома валами; б – ексцентрикового типу з одним валом (аналог щоквої дробарки із складним рухом щоки); в – по типу роторної дробарки; г – з приводом щоки від гідроциліндрів

Fig. 1. Schemes of the main types of crushing bucket:

a – eccentric type with two shafts; b eccentric type with one shaft (an analogue of a jaw crusher with a complex movement of the jaw); c – by the type of rotary crusher; d – with a cheek drive from hydraulic cylinders

Навісний дробильний ківш з двома ексцентриковими валами в основному виготовляють компанії Xcentric (Іспанія) та Epiroc (США), рис.2. На рис. 3 представлено типову конструкцію навісного дробильного ківша компанії Epiroc. Основні елементи будови дробильного ківша є рухома щока в зборі, яка здійснює коливальні рухи за рахунок передачі коливань від двох ексцентрикових валів два.



а



б

Рис. 2. Дробильні ківші з двома ексцентриковими валами: а – компанії Xcentric; б – компанії Epiroc  
Fig. 2. Crushing buckets with two eccentric shafts: a – Xcentric companies; b – Epiroc company

Привід валів здійснюється через пасову передачу двома гідродвигунами 2. Для регулювання вихідного отвору в навісному дробильному ківші використовується важільний механізм 3, який змінює кут встановлення нерухомої щоки 4 в допустимих межах.

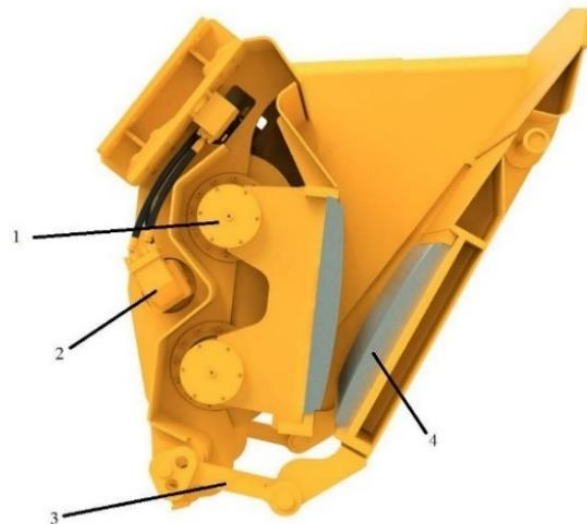


Рис. 3. Дробильний ківш компанії Epiroc:

1 – рухома щока; 2 – гідродвигун; 3 – важіль регулювання вихідного отвору; 4 – нерухома щока  
Fig. 3. Epiroc crushing bucket:

1 – movable cheek; 2 – hydraulic motor; 3 – outlet adjustment lever; 4 – fixed cheek

Дробильні ківши рис. 2 є навісним робочим обладнанням екскаваторів. Виробник Xcentric наводить наступні переваги дробильних ківшів по типу з двома ексцентриковими валами: 1) стандартна періодичність обслуговування (змащення кожні 50 мотогодин); 2) менші експлуатаційні затрати за рахунок відсутності багатьох вузлів, які наявні в класичних щокочних дробарках (відтяжні пружини з важелем, розпірна плита); 3) значна інерційність рухомої щоки, за рахунок встановлення двох привідних двигунів та великої коливальної маси; 4) можливість реверсивного ходу, що дозволяє знизити можливість забивання дробилового простору; 5) наявність у верхній частині камери дроблення ківша рухомої плити, яка під час роботи ківша сприяє просуванню матеріалу до вихідного отвору; 6) взаємне розміщення рифлень дробильних плит рухомої та нерухомої щоки є хрестоподібним, що сприяє кращому захопленню волого матеріалу, знижує його налипання та пришвидшує переміщення до вихідного отвору.

Таблиця 1. Дробильні ківші компаній Xcentric та Epiroc

Table 1. Xcentric and Epiroc crushing buckets

Параметр	Xcentric XC20	Xcentric XC30	Epiroc BC 3700	Epiroc BC 5300
Вага екскаватора, т	20-25	24-35	28-38	35-54
Вага, т	2500	3500	4000	5700
Максимальний робочий тиск, МПа	25	25	25	32
Об'єм ківшу, м <sup>3</sup>	0.8	1	1	1.2
Розмір вхідного отвору, (Height x Width, м)	0.85 x 0.54	0.91 x 0.54	0.9 x 0.42	1.1 x 0.465
CSS, мм	20-140	20-140	20-140	20-140
Подача, л/хв	175	190	199,8	300
Потужність гідродвигуна, кВт	73.95	80.3	84,4	162,3
Максимальна степінь дроблення	4	4	3	3.3

На думку автора дана конструкція дробильного ківша рис. 2 є найбільш перспективною серед інших за рахунок простоти конструкції. До недоліків конструкції можна віднести наступні: 1) використання двох гідродвигунів, що вказує на відносно більші енергетичні затрати в порівнянні з іншими дробильними ківшами; 2) простота та надійність важільного механізму який регулює величину вихідного матеріалу, призводить до обмеженості та відсутності плавної зміни розмірів вихідного отвору.

Технічні характеристики деяких моделей навісних дробильних ківшів компаній Xcentric та Epiroc наведені в таблиці 1.



а



б

Рис. 4. Дробильні ківші з одним ексцентриковим валом:

а – компанії Genesis; б – компанії Hartl

Fig. 4. Crushing buckets with one eccentric shaft:

a – Genesis companies; b – Hartl company

Найбільш поширеними на сьогодні навісними дробильними ківшами є дробильні ківши по типу шокової дробарки із складним рухом щоки, рис. 1, б. Такі дробильні ківші виготовляють компанії MB Crusher (США), Hartl (США), Rockcrusher (США), Genesis (США). На рис. 4 представлені моделі дробильних ківшів з одним ексцентриковим валом. В цілому конструкція таких дробильних ківшів є аналогічною до конструкції шокової дробарки із складним рухом щоки.

На рис. 5 представлена будова навісного дробильного ківша з одним ексцентриковим валом. Дробильний ківш складається із рами 1, до якої кріпиться нерухома щока 8. Нерухома щока 8 та рухома щока 7 утворюють камеру дроблення. Привід рухомої щоки здійснюється за рахунок передачі крутного моменту від гідродвигуна 9 до шківів 2 через пасову передачу. Шків 2 в свою чергу передає крутний момент на ексцентриковий вал 2, на який посаджена рухома щока 7. На другу консоль ексцентрикового валу насаджений маховик (не зображено на рис. 5). Для покращення процесу розвантаження матеріалу передбачена блок пружини з тягою 6. З метою запобігання руйнування елементів конструкції дробарки та фіксації щоки у відповідному положенні передбачена розпірна плита 5. Зміна розантажувального отвору здійснюється за рахунок зміни кількості регулювальних плит 4. В інших конструкціях дробильних ківшів може використовуватись клиновий або важільний механізм для регулювання вихідного отвору.

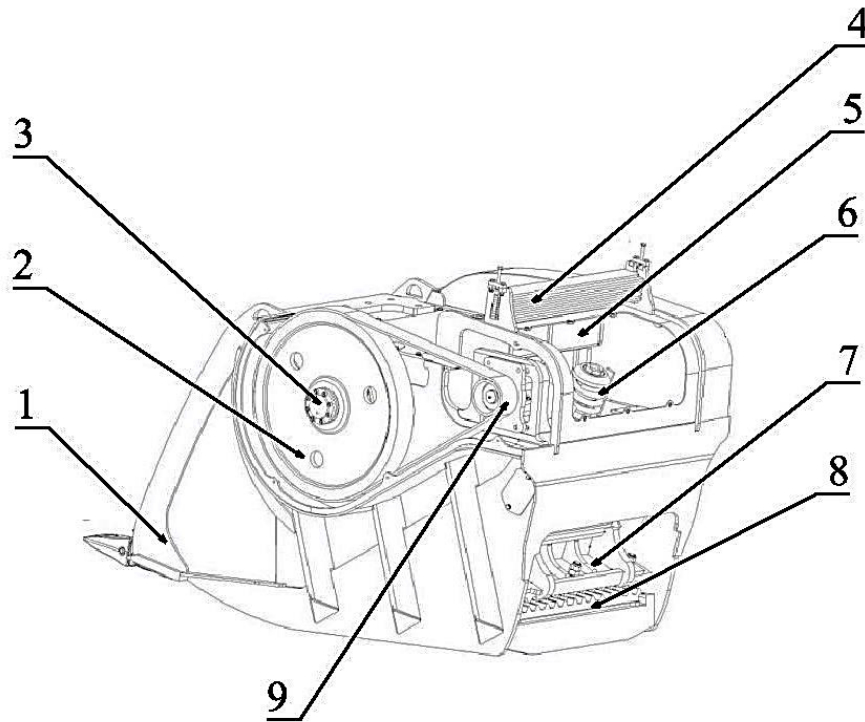


Рис. 5. Навісний дробильний ківш з одним ексцентриковим валом:  
 1 – рама; 2 – шків; 3 – ексцентриковий вал в зборі; 4 – регулювальні пластини; 5 – розпірна плита;  
 6 – вузол відтяжної пружини; 7 – рухома щока; 8 – нерухома щока

Fig. 5. Hinged crushing bucket with one eccentric shaft:  
 1 – frame; 2 – pulley; 3 – eccentric shaft assembly; 4 – adjusting plates; 5 – spacer plate;  
 6 – tension spring assembly; 7 – movable cheek; 8 – fixed cheek

До переваг такої конструкції слід віднести підвищену надійність у роботі, що виправдовується багатолітніми дослідженнями конструкцій дробарок із складним рухом щоки. Тут також слід додати до переваг підвищену довговічність роботи окремих вузлів дробарки. Також в таких типах дробарок передбачена можливість реверсивного ходу, що спрощує процес розвантаження камери дроблення при потраплянні недробимих предметів або забиванні камери дроблення. Ще одною з переваг є знижені енергозатрати в порівнянні з дробильними ківшами в яких встановлено 2 гідродвигуни.

Таблиця 2. Дробильні ківші компаній MB та Genesis  
 Table 2. Crushing buckets of the MB and Genesis companies

Параметри	MB BF90.3 S4	MB BF120.4 S4	Genesis GBC 950	Genesis GBC 1250
Вага екскаватора, кг	18500	21000	34019	45359
Вага, кг	3000	3500	3955	5719
Максимальний робочий тиск, МПа	22	22	22	22
Об'єм ківша, м <sup>3</sup>	0.7	0.9	1.3	2.17
Частота обертів, об/хв	-	-	350	350
Потужність гідродвигуна, кВт	59,5	67	74.6	108.4

Подача, л/хв	160	180	200,627	291,477
Розмір вхідного отвору, Height x Width, м	0.85 x 0.54	0.91 x 0.54	0.533 x 0.9398	0.5588 x 1.2446
CSS, мм	15-135	15-140	12 - 120	12 - 120
Максимальна степінь дроблення	4	3,8	3,77	3,95
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	34	42	-	-

До недоліків таких ківшів можна віднести складність конструкції, та як результат підвищена маса. Якщо враховувати, що даний ківш підвішується на консолі стріли екскаватора, то в процесі дроблення матеріалу можуть виникати коливання ківша, що в свою чергу може призвести до зниження енергоефективності. І дані висновки підтверджуються аналізом конструкцій дробильних ківшів різних виробників. Так, наприклад, деякі виробники пропонують, як додаткову опцію до дробильних ківшів з одним ексцентриковим валом магніт, який закріплюється в нижній частині ківша. За рахунок магнітного поля магніт додатково фіксує ківш.

Дробильні ківші по типу з одним ексцентриковим валом є поширеним навісним обладнанням для екскаваторів та навантажувачів.

Технічні характеристики деяких моделей навісних дробильних ківшів з одним ексцентриковим валом наведені в таблиці 2.

Дробильні ківші по типу роторної дробарки, рис. 1, є відносно менш поширеними ніж дробильні ківші перших двох типів і виготовляються двома компаніями – Simex (США) та Ecomesa (Фінляндія).

На рис. 6 представлені дробильні ківші компаній Simex (США) та Ecomesa (Фінляндія).



а



б

Рис. 6. Дробильні ківші компаній Simex (США) та Ecomesa (Фінляндія)  
 Fig. 6. Crushing buckets of the companies Simex (USA) and Ecomesa (Finland)

Будова дробильного ківша по типу роторної дробарки представлена на рис. 7. Дробильний ківш по типу роторної дробарки складається із корпусу 1, двох гідродвигунів 2, які через муфту приводять в дію ротора 3. В цілому конструкція є дуже простою. Також є версії або з одним ротором або з двома рис 6, б по типу шредера.

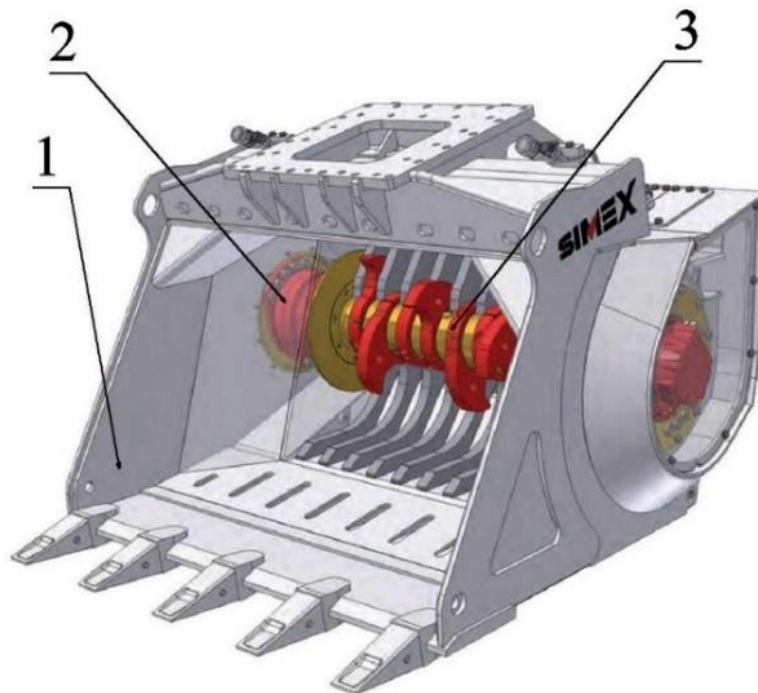


Рис. 7. Навісний дробильний ківш по типу роторної дробарки: 1 – рама; 2 – гідродвигун; 3 – ротор  
 Fig. 7. Hinged crushing bucket of the rotary crusher type: 1 – frame; 2 – hydraulic engine; 3 – rotor

Перевагами дробильних ківшів по типу роторної дробарки є простота конструкції. Такі ківші найкраще себе зарекомендували при переробці будівельних відходів таких як залізобетон, цеглу, асфальт, дерево, пластик. За рахунок великої швидкості обертання ротора на кромках ножів ротора створюється значне зрізувальне зусилля, яке дозволяє таким ківшам дробити арматуру відповідного діаметру. Також є можливість реверсивної роботи, що спрощує розвантаження дробильного ківша.

Таблиця 3. Дробильні ківші компаній Simex та Ecomesa.

Table 3. Crushing buckets of the Simex and Ecomesa companies.

Параметри	Меса 145	Меса 180	Simex CBE 30	Simex CBE 40
Вага екскаватора, т	27-40	32-45	16-28	24-40
Вага, кг	4170	4645	2170	2900
Максимальний робочий тиск, МПа	28	28	35	35
Об'єм ківшу, м <sup>3</sup>	1,45	1,8	0.8	1
Ширина вхідного отвору, Width, мм	1100	1305	1410	1630
Діаметр ротора, мм	-	-	915	1050
Максимальна дробильна сила, кН	-	-	125	152

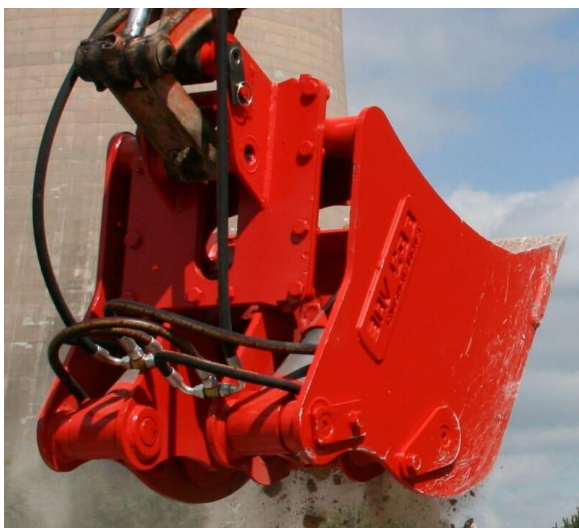


Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	156	181	40	50
Розмір готового продукту, мм	0-150	0-150	0-120	0-130
Подача, л/хв	280	280	250	350
Потужність гідрод- вигуна, кВт	-	-	148	207,1
Максимальна сте- пінь дроблення	8,4	8,4	11,75	12,5

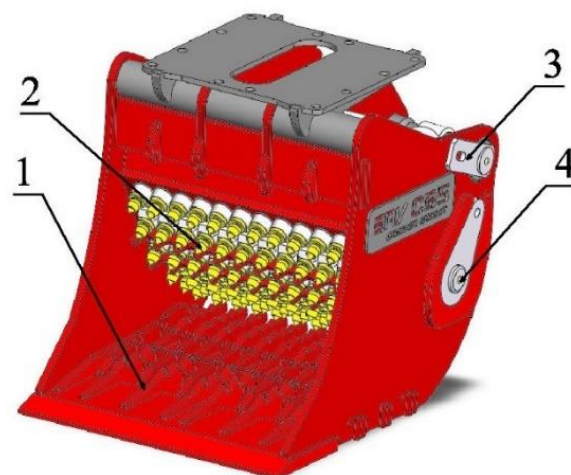
До недоліків навісних дробильних ківшів слід віднести той факт, що ефективна робота таких ківшів можлива за умов значного тиску гідравлічної рідини. Так наприклад всі роторні навісні ківші компанії Simex (США) працюють при тискові 35 МПа. Проте ківші компанії Esomesa (Фінляндія) працюють при дещо нижчому тискові в 28 МПа. Другий відносний недолік це значні габарити в поздовжньому напрямку. Так як для забезпечення відповідної продуктивності на рівні дробильних ківшів по типу щокової дробарки, та можливості дроблення негабаритів ширина дробильної камери таких дробарок повинна бути відповідною. Плюс додаткові габарити створюють кармани з двох боків камери дроблення, в яких розміщується привід. Ще одним недоліком може бути підвищені затрати потужності, так як зазвичай на такі ківші встановлюють 2 привідні гідродвигуни.

Дробильні ківші по типу роторної дробарки підходять до встановлення на навантажувачі та екскаватори.

Технічні характеристики деяких моделей навісних дробильних ківшів по типу роторної дробарки наведені в таблиці 3.



а



б

Рис. 8. Навісний дробильний ківш компанії BAV: а – дробильний ківш; б – 3д модель  
 Fig. 8. Hinged crushing bucket of the BAV company: a – crushing bucket; b – 3d model

Дробильні ківші з приводом щоки від гідроциліндрів є найменш поширеними на сьогодні, рис. 1, в. Такі ківші виготовляє компанія BAV(Великобританія), рис. 8, а.

Будова дробильного ківша представлена на рис. 8, б. Ківш складається із рами до внутрішньої частини якої приварюються рифлення 1 і разом із рухомою щогою 2 утворюють камеру дроблення. Такі рифлення 1 також можуть встановлюватись в якості окремої плити. До тильної сторони рухомої щоки 2 шарнірно прикріплюються одним кінцем гідроциліндри. Іншим кінцем гідроциліндри закріплюються на вісі 3. Додатково рухома щока кріпиться на корпусі за рахунок вісі 4.

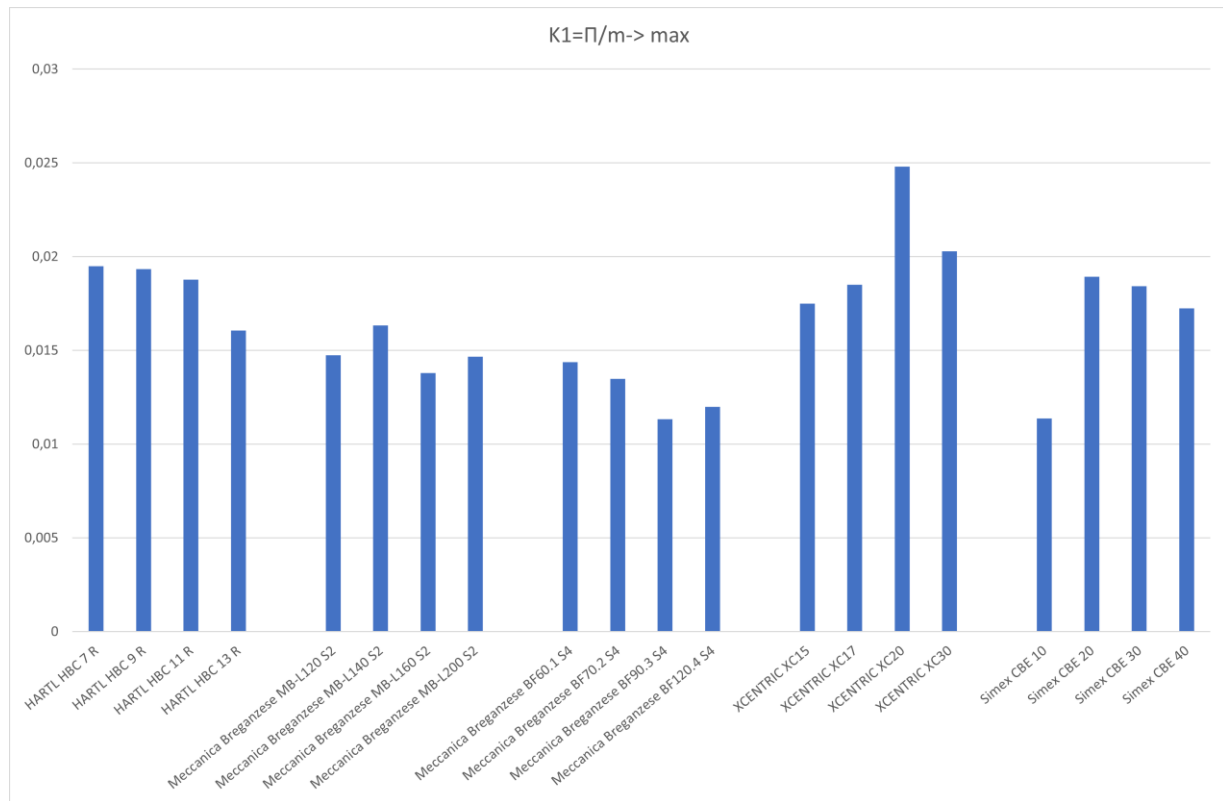


Рис. 9. Оцінка по критерію впливу маси на продуктивність  
Fig. 9. Evaluation by the criterion of mass influence on performance

Особливістю дробильного ківша крім його кінематики також є його камера дроблення. Рифленням рухомої щоки є не поздовжні або поперечні ребра, а окремо вкручені в щоку стержні. З аналізу інформації, яку надає виробник такі дробильні ківші добре підходять для переробки бетонних плит, цегли тощо. Дробильні ківші, рис. 8, мають наступні технічні характеристики, які є доступними: 1) Вага екскаватора – до 25 тон; 2) розмір готового матеріалу – 0-100 мм; 3) в якості приводу в основному використовується 2 гідроциліндри; 4) змінні зуби рухомої щоки виконуються із карбіду вольфраму.

До переваг таких ківшів можна віднести простоту конструкції. Відсутність додаткових регулювальних механізмів, що сприяє підвищенню довговічності та простоті обслуговування. До недоліків можна віднести меншу погодинну продуктивність в порівнянні з іншими типами ківшів, трудомісткість робіт по заміні зубів рухомої щоки. Складність очищення камери дроблення при дробленні вологого матеріалу.

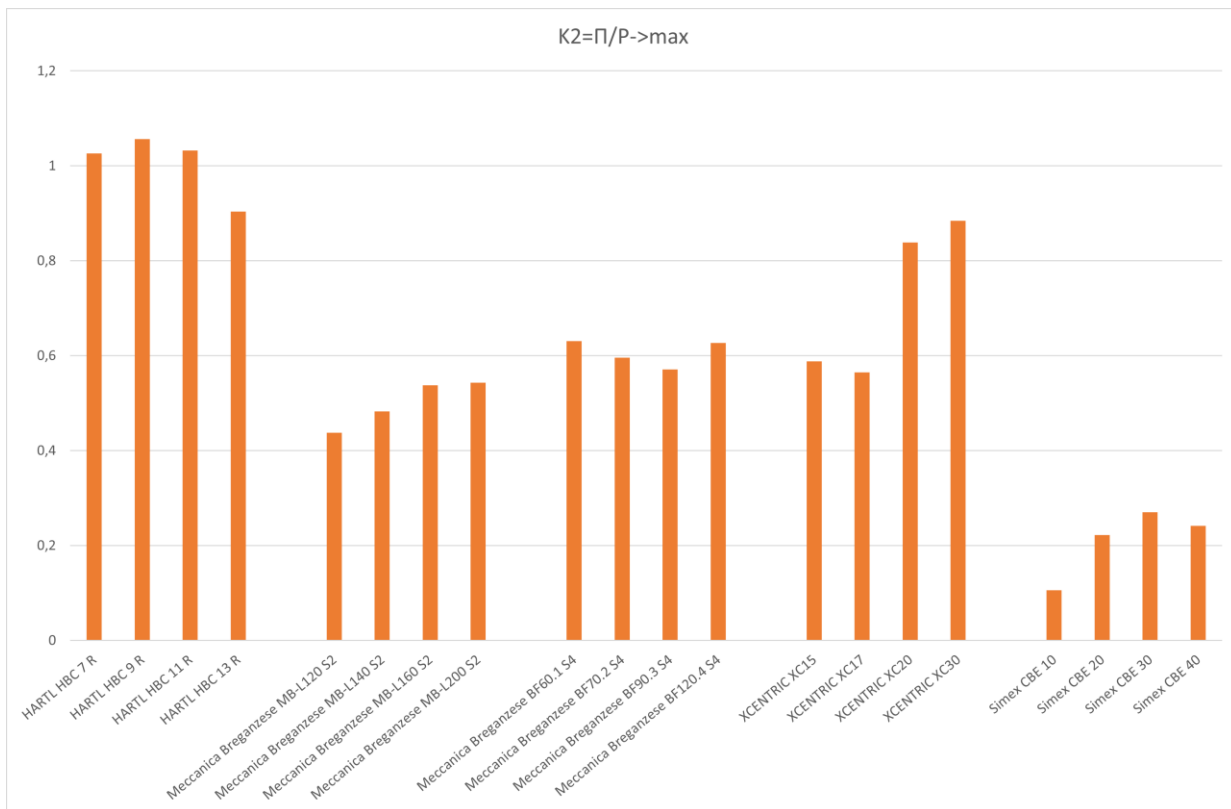


Рис. 10. Оцінка по критерію впливу витрат енергії на продуктивність  
 Fig. 10. Assessment by the criterion of the impact of energy consumption on productivity

У ході дослідження був проведений аналіз дробильних ківшів, які відрізняються технічними характеристиками, що визначає їхнє місце та призначення в ланцюгу виробництва та обробки будівельних матеріалів. На основі аналізу були побудовані відповідні гістограми, які представлені на рисунках 9-13.

З аналізу по критерію  $K_1$  кращі показники мають дробильні ківші компаній Xcentric, Hartl, CB Simex. Відповідно по критерію  $K_2$  кращі результати мають дробильні ківші компанії Xcentric, Hartl та MB.

Для оцінки техніко-економічних показників та параметрів навісних дробильних ківшів були застосовані наступні критерії: 1)  $K_1$  - критерій оцінки впливу маси на продуктивність (->max); 2)  $K_2$  - критерій впливу витрат енергії на продуктивність (->max); 3)  $K_3$  - критерій впливу потужності на масу (->min); 4)  $K_4$  - критерій впливу потужності на ступінь дроблення (->min); 5)  $K_5$  - критерій впливу тиску на масу (->min).

Найкращі результати за показником  $K_3$  є ківші компанії CB Simex. Тут слід зазначити, що ківші CB Simex мають відмінну кінематику від інших ківшів, які в основному працюють по схемі роздавлювання або стирання матеріалу в камері дроблення. В ківшах компанії CB Simex руйнування відбувається за рахунок швидкісного удару і зрізу. Серед ківшів ексцентрикового типу кращі показники мають ківші компанії Xcentric та MB. Також ківші компанії CB Simex є кращими по значенню показника  $K_4$ .

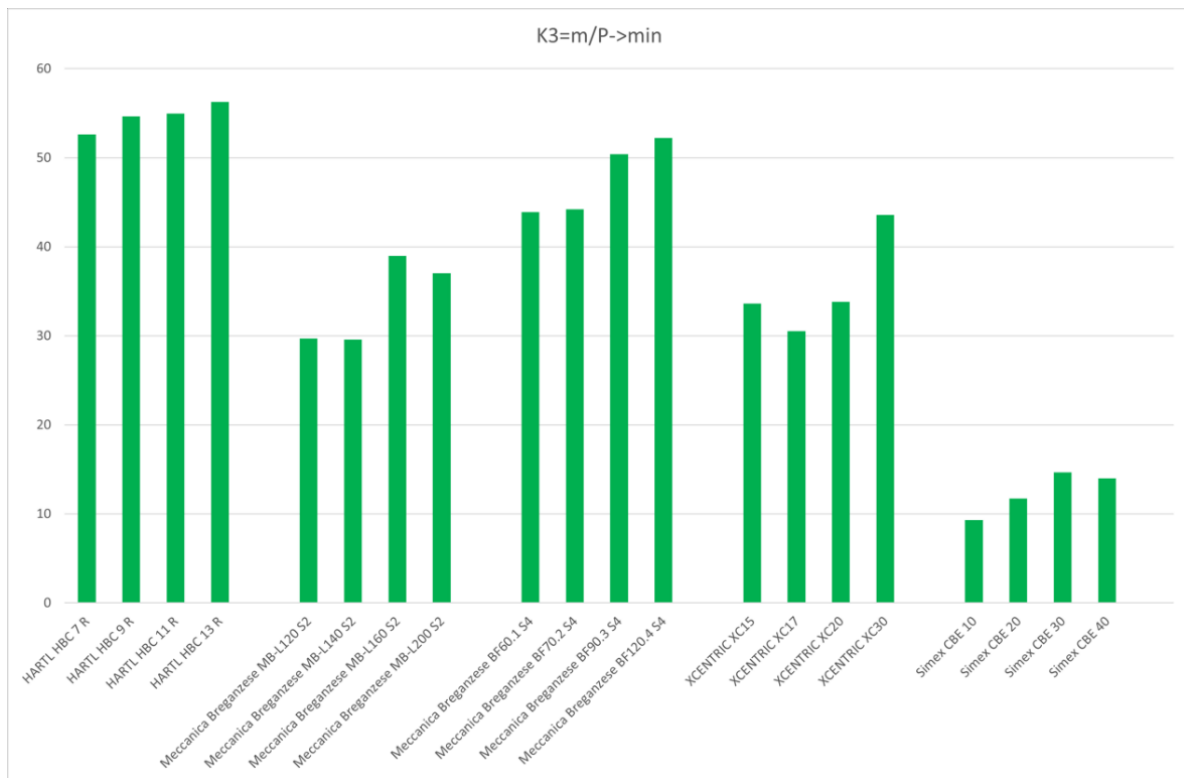


Рис. 11. Оцінка по критерію впливу потужності на масу  
 Fig. 11. Evaluation according to the criterion of the effect of power on mass

Суть оцінки по коефіцієнту  $K_5$  полягає в можливості зменшення маси конструкції за рахунок збільшення тиску в гідравлічній системі. Важливо враховувати, що матеріал конструкції повинен забезпечувати необхідну міцність при зменшенні ваги. Дробильні ківші компаній СВ Simex та МВ демонструють найкращі показники за критерієм  $K_5$ .

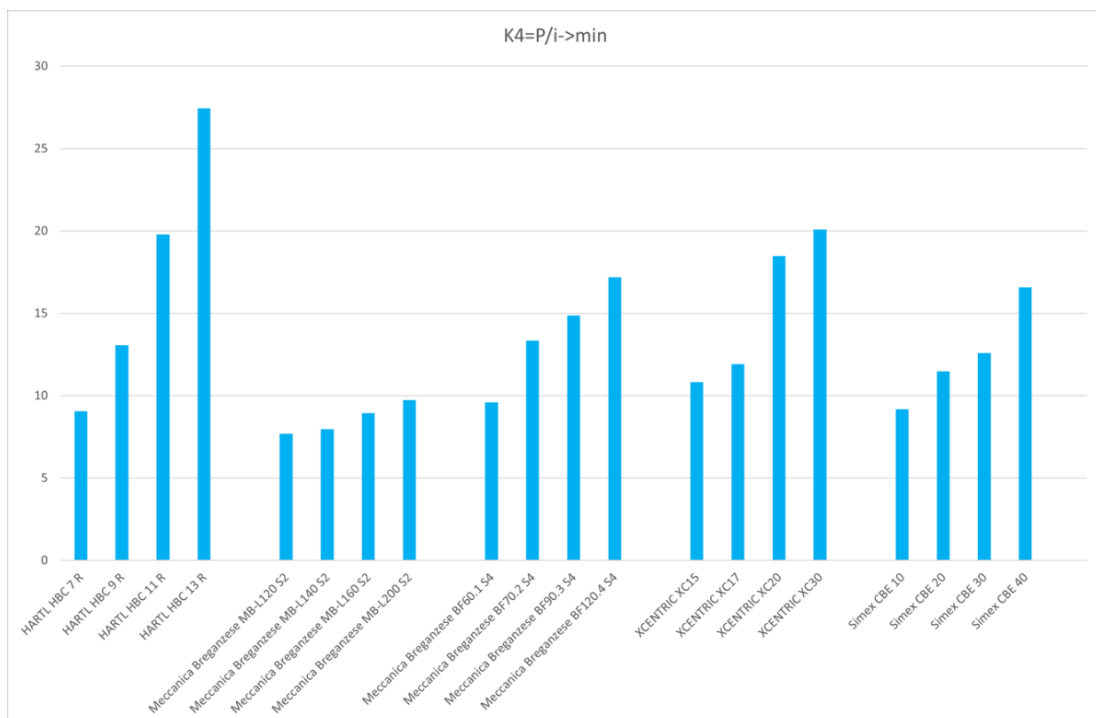


Рис. 12. Оцінка по критерію впливу потужності на ступінь дроблення  
 Fig. 12. Evaluation by the criterion of the effect of power on the degree of crushing

Аналіз показав суттєві відмінності у вимірюваних показниках, що пояснюється різними методами розрахунку та конструювання машин. Найбільш перспективними дробильними ківшами на сьогодні є дробильні ківші з двома ексцентриковими валами та по типу роторної дробарки, що підтверджують дані критеріальної оцінки.

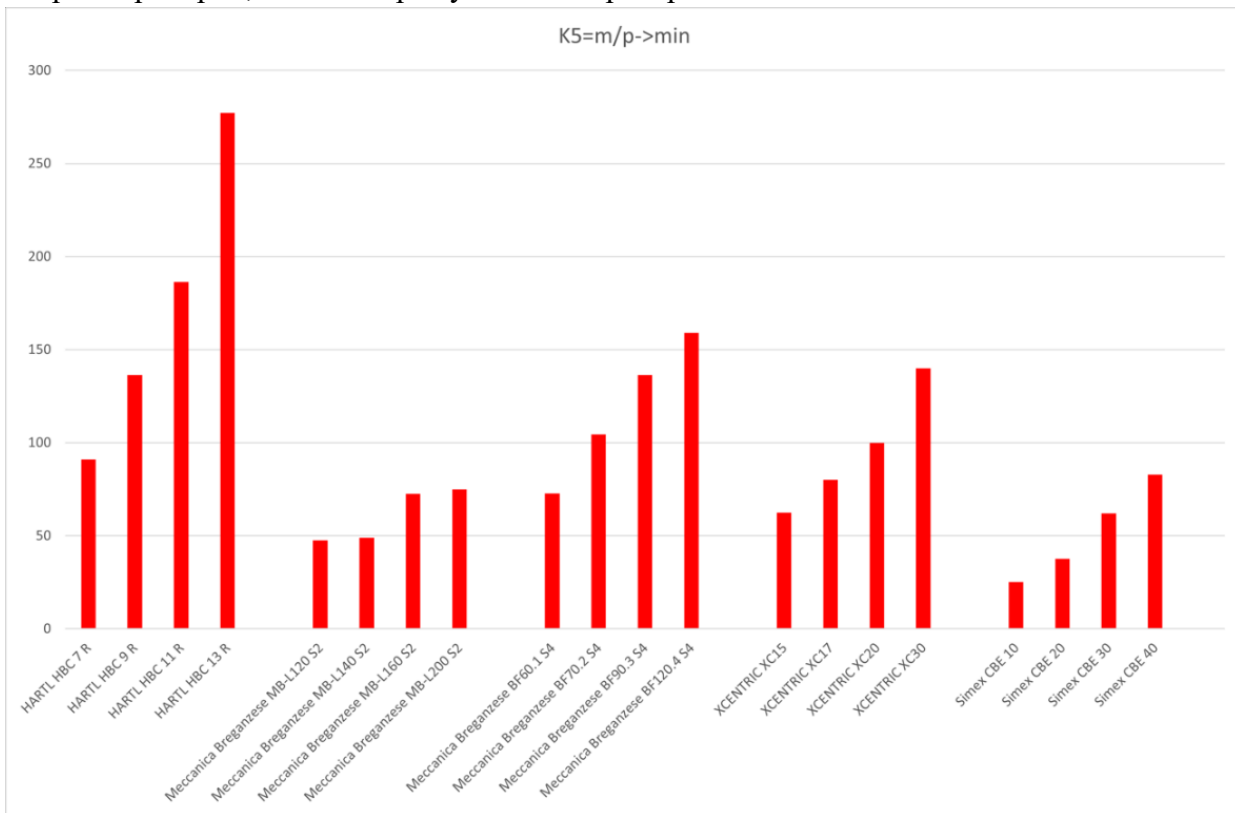


Рис. 13. Оцінка по критерію впливу потужності на степінь дроблення  
 Fig. 13. Evaluation by the criterion of the effect of power on the degree of crushing

В рамках виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи на кафедрі Машин і обладнання технологічних процесів було розроблено та спроектовано навісний дробильний ківш по з двома ексцентриковими валами. За основу по технічним вимогам був взятий дробильний ківш компанії Ерігос BC5300. На рис. 14 представлена 3d модель дробильного ківша.

В якості базової машини був прийнятий кар’єрний екскаватор Liebherr 980. Для попередніх розрахунків продуктивність дробильного ківша можна визначити по наступній залежності:

$$\Pi = \frac{1800nLS(2e+S)\mu}{\text{tg}\alpha}, \tag{1}$$

де  $n$  – кількість хитань дробильної щоки за визначену одиницю часу;  $L$  – довжина камери дроблення;  $B$  – ширина камери дроблення;  $e$  – ширина розвантажувального отвору;  $S$  – хід рухомої щоки;  $\mu$  – коефіцієнт розпушення маси матеріалу;  $\alpha$  – кут захвату.

Хоча в джерелі [5] продуктивність пропонується визначати по більш спрощеній залежності:

$$\Pi = 60Vn, \tag{2}$$

де  $V$  – об’єм матеріалу,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – кількість призм матеріалу, які випадають за 1 хв.

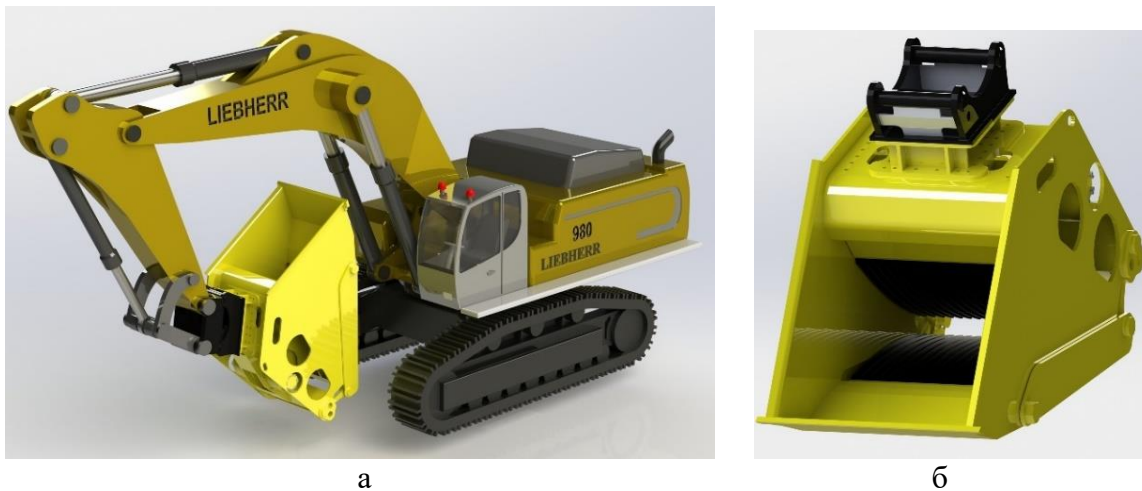


Рис. 14. 3D модель навісного дробильного ківша розробленого на кафедрі МОТП:  
 а – дробильний ківш з базовим екскаватором; б – дробильний ківш  
 Fig. 14. 3D model of the hinged crushing bucket developed at the Department of Mechanical Engineering and Technology: a – a crushing bucket with a basic excavator; b - crushing bucket

Оптимальна частота обертання привідного валу:

$$\omega = \frac{4}{\sqrt{S}}, \quad (3)$$

Потужність електродвигуна:

$$N = \frac{\sigma^2 L n}{3,8E} (D^2 - d^2), \quad (4)$$

де  $E$  – модуль Юнга;  $D$  – розмір вхідного матеріалу;  $d$  – розмір вихідного матеріалу.

Тривалість циклу дроблення матеріалу екскаватором можна визначити за наступною залежністю:

$$T_{\text{ек}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (5)$$

де  $t_1$  – час копання, хв;  $t_2$  – час на колове переміщення стріли екскаватора із заповненим ківшем, хв;  $t_3$  – час дроблення, хв;  $t_4$  – колове переміщення стріли екскаватора із наповненим ківшем, хв.

В подальшому заплановано дослідити кінематику та динаміку дробильного ківша, рис. 14. З цією метою для навісного дробильного ківша можна скористатись наступним рівнянням руху:

$$M\ddot{\varphi} = F_{\text{ек}}, \quad (6)$$

де  $M$  – маса коливальних частин дробарки;  $\ddot{\varphi}$  – кутове прискорення ексцентрикового валу;  $F_{\text{ек}}$  – сила, яка прикладена до ексцентрика.

## 5. Висновки:

1. виконаний аналіз та оцінка конструкцій навісних дробильних ківшів, що застосовуються у будівельній та гірничодобувній промисловості;
2. На основі критеріальної оцінки по основним параметрам, визначені найбільш оптимальні конструкції для сучасних умов будівництва та переробки будівельних матеріалів. До таких дробильних ківшів відносяться ківші виконані по схемі роторної дробарки та по схемі шокової дробарки з двома ексцентриковими валами;

3. Створення 3d модель дробильного ківша та визначені основні параметри робочого процесу;

4. Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані при проектуванні та виборі дробильних навісних ківшів виходячи з умов виробництва.

#### Список використаних джерел:

1. G. F. Căpățână and M. A. Potîrniche (2021) Aspects regarding 3d modelling and finite element analysis of a crusher bucket. ModTech. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1182 (2021) 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/1182/1/012012.
2. Construction & Demolition Recycling at: <https://www.cdrecycler.com/article/guide-to-bucket-crusher-hydraulic-attachments/>.
3. *Evo-Crusher. Volumetric reduction bucket for inert material.* Instruction manual. Company with quality management system certified by DNV ISO 9001:2008. Ver. 9V/07.01. p.31.
4. Epiroc BC5300. Spare parts list bucket crusher. 2021 Construction tools GmbH No. 3390786201. p.36.
5. *Danail Terziyski, Ljupcho Dimitrov, Dimitar Kaykov (2021).* A comparison study between bucket crusher and mobile crusher performance for limestone quarries. *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 64. p.92-97.*
6. *Marsheal Fisonga & Victor Mutambo. (2017)* Optimization of the fleet per shovel productivity in surface mining: Case study of Chilanga Cement, Lusaka Zambia, Cogent Engineering, 4:1, 1386852, DOI: 10.1080/23311916.2017.1386852.
7. Yevhen Mishchuk, Ivan Nazarenko (2023) Analysis of the energy laws of material destruction. Strength of Materials and Theory of Structures. No 110. p. 294-315. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.294-315>.
8. Mustafa Murat Yavuz (2024) Effect of Crusher Arm Position and Surface Friction on the Mechanical Behaviour of a Crusher under Static Conditions. Hittite Journal of Science and Engineering, 2024, 11 (1) 1-6. ISSN NUMBER: 2148-4171. DOI: 10.17350/HJSE19030000325.
9. Paweł Ciężkowski, Jan Maciejewski, Sebastian Bąk (2017) Analysis of energy consumption of crushing processes – comparison of one-stage and two-stage processes. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 39, No. 2, 2017. DOI: 10.1515/sgem-2017-0012.
10. Marit Fladvad, Tero Onnela (2020) Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. *Minerals Engineering* 151 106338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106338>.

#### References:

1. G. F. Căpățână and M. A. Potîrniche (2021) Aspects regarding 3d modelling and finite element analysis of a crusher bucket. ModTech. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1182 (2021) 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/1182/1/012012.
2. Construction & Demolition Recycling at: <https://www.cdrecycler.com/article/guide-to-bucket-crusher-hydraulic-attachments/>.
3. *Evo-Crusher. Volumetric reduction bucket for inert material.* Instruction manual. Company with quality management system certified by DNV ISO 9001:2008. Ver. 9V/07.01. p.31.
4. Epiroc BC5300. Spare parts list bucket crusher. 2021 Construction tools GmbH No. 3390786201. p.36.
5. *Danail Terziyski, Ljupcho Dimitrov, Dimitar Kaykov (2021).* A comparison study between bucket crusher and mobile crusher performance for limestone quarries. *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 64. p.92-97.*
6. *Marsheal Fisonga & Victor Mutambo. (2017)* Optimization of the fleet per shovel productivity in surface mining: Case study of Chilanga Cement, Lusaka Zambia, Cogent Engineering, 4:1, 1386852, DOI: 10.1080/23311916.2017.1386852.
7. Yevhen Mishchuk, Ivan Nazarenko (2023) Analysis of the energy laws of material destruction. Strength of Materials and Theory of Structures. No 110. p. 294-315. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.294-315>.
8. Mustafa Murat Yavuz (2024) Effect of Crusher Arm Position and Surface Friction on the Mechanical Behaviour of a Crusher under Static Conditions. Hittite Journal of Science and Engineering, 2024, 11 (1) 1-6. ISSN NUMBER: 2148-4171. DOI: 10.17350/HJSE19030000325.

9. Paweł Ciężkowski, Jan Maciejewski, Sebastian Bąk (2017) Analysis of energy consumption of crushing processes – comparison of one-stage and two-stage processes. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 39, No. 2, 2017. DOI: 10.1515/sgem-2017-0012.
10. Marit Fladvad, Tero Onnela (2020) Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. *Minerals Engineering* 151 106338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106338>.