

Назаренко І. І.

Міщук Є. О.

*Київський національний  
університет  
будівництва і  
архітектури*

Nazarenko I. I.

Mishchuk E. O.

*Kyiv National University  
of Construction and  
Architecture*

УДК 621.647.4

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ВІБРАЦІЙНИХ ЩОКОВИХ ДРОБАРОК І ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

**Анотація.** Робота присвячена аналізу стадій руйнування в камері подрібнення ексцентрикових дробарок та розгляду конструктивних особливостей вібраційних щокрових дробарок, з метою рішення проблеми інтенсифікації процесу руйнування та визначення передумов для подальшого дослідження.

**Ключові слова:** дробарка, енергоефективність, інтенсифікація.

**Актуальність проблеми.** Будівельна промисловість з кожним днем потребує нових методів виробництва будівельних матеріалів, так як потреби людства зростають, а ресурси для виробництва цих потреб зменшуються. Тому актуальною задачею сьогодення є проблема енергозбереження.

Розглядаючи дробильне обладнання для подрібнення гірських порід, стає зрозумілим, що ця галузь виробництва потребує впровадження нових енергоефективних методів подрібнення. Заміни підходів та методів конструювання дробарок, створених на основі чистого емпіризму та інтуїції на наукові, що в свою чергу підвищать ефективність цих машин.

**Аналіз досліджень.** Дробарки крупного та середнього подрібнення, а саме щокрові, сконструйовані за класичною схемою є енергоємними і для деяких умов роботи потенційно себе вичерпали та не задовольняють сучасним потребам мінімізації енерговитрат [5].

**Мета роботи:** полягає в оцінці існуючих методів визначення параметрів і характеристик подрібнення і на цій основі розробка нової конструкції дробарки.

**Викладення основного матеріалу.** Процес подрібнення матеріалу в щокрових дробарках здійснюється за такою циклічною схемою: удар – роздавлювання – стирання [5]. При різних конструкціях дробильних плит замість стадії роздавлювання, може бути стадія злому або розколу. Низький коефіцієнт корисної дії на кожній із цих стадій, змушує створювати нові конструктивні схеми дробарок та нові напрямки розвитку машин цього класу. Так до

перспективних напрямків подрібнення можна віднести: вібраційний, електрогідрравлічний, електроімпульсний, ультразвуковий, гравітаційний, термічний та ін.

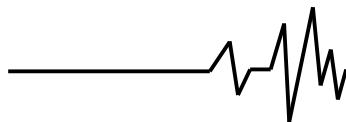
Розглянемо основні етапи подрібнення ексцентрикової дробарки, з метою визначення можливості підвищення ефективності роботи машини в цілому.

На стадії роздавлювання кусок матеріалу роздавлюється та стирається між двома поверхнями дробильних щік, при повільному зростанню зусилля. Тобто, для того щоб зруйнувати матеріал машині потрібно подолати зусилля на руйнування матеріалу від стиску, яке визначається наступною залежністю [7]:

$$\sigma_p \approx \beta \sqrt{\gamma E / l}, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $\beta$  – числовий коефіцієнт;  $\gamma$  – питома поверхнева енергія тріщини;  $l$  – довжина тріщини, утвореної при руйнування матеріалу. Для забезпечення руйнування матеріалу таким методом необхідно витратити велику кількість енергії, навіть при руйнуванні не ідеального тіла. Висока анізотропія деяких матеріалів (відношення  $E_{\max} / E_{\min}$  досягає 3), а також ефект

пластичності сприяють підвищенню енергозатрат. Зменшити енергозатрати на даній стадії руйнування можливо наступними способами: 1) забезпечити ефективну дію на матеріал згинальних, зламувальних та



розколюючих зусиль, напруження руйнування від яких на порядок нижче від чистого стиску, а напруження від чистого стиску, в свою чергу, звести до мінімуму; 2) Значна зміна складу (введення домішок) або внутрішньої структури твердого тіла.

Передуючою до стадії роздавлювання є стадія удару. На цій стадії матеріал подрібнюється шляхом удару. Одним із основних факторів руйнування при ударі є швидкість навантаження. Збільшення швидкості руйнування і зниження температури призводить до крихкого руйнування.

Руйнування, викликане хвилею напружень, можна описати наступним чином. Коли імпульс стиску, що розповсюджується в середовищі, падає нормально на вільну від напружень межу цього середовища, він породжує імпульс розтягу, який має ту ж саму форму, що і імпульс стиску, проте він має переміщення, направлене в інший бік від межі. Якщо напруження розтягу, створене відбитим імпульсом, перевищить міцність матеріалу на розтяг, то буде відбуватись руйнування. Це явище відоме як «відкол» або «руйнування Гопкінса» [6].

В роботі [1] критичну швидкість руйнування при якій зміщення частинок середовища приводить до руйнування визначається за формулою:

$$V_{кр} = \int_0^{\varepsilon} \left( \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right), \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – деформація межі міцності;

$\rho$  – густина.

При динамічному навантаженні міцних порід відбувається процес акумулювання енергії окремих ударів, внаслідок чого з кожним ударом напружений стан породи збільшується і при досягненні границі міцності порода руйнується.

В різних дослідженнях вказується на збільшення міцності матеріалів із збільшенням швидкості навантаження. Так в роботі [1] зазначена залежність зміни міцності матеріалів від швидкості навантаження для пісчаників і гранітів:

$$\sigma = a + b \lg \frac{V}{V_0}, \quad (3)$$

де  $a$  і  $b$  – сталі величини;

$V, V_0$  – порівнювані швидкості навантаження.

В роботі [2] відмічено, що при динамічному режимі руйнування, при перших ударах руйнується велика кількість частинок матеріалу, але при подальших ударах кількість зруйнованих частинок зменшується. Як

наслідок велика кількість енергії втрачається без утворення нової поверхні. Проте коли в крихкому тілі розповсюджується імпульс напружень достатньо великої амплітуди, він може приводити до руйнування, яке суттєво відрізняється від руйнування при квазістатичному і відносно повільному динамічному навантаженні.

В роботі [3] зазначена залежність для визначення роботи при ударному руйнуванні матеріалу:

$$A = \frac{K \sigma_p^{1.5} p_k^{0.5} (1-\mu)^{2.5} (1+\mu) s^b n^c}{\mu^{1.5} E_n}, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт, враховуючий перетворення ударного навантаження в зусилля, що розриває матеріал;

$p_k$  – контактна міцність породи;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$S$  – площа, по якій проходить розкол матеріалу,  $m^2$ ;

$n$  – число ударів до руйнування;

$b$  і  $c$  – показники, що характеризують відповідно масштабний ефект і ефект втомленості, які залежать від структури і міцностних характеристик порід.

Всі показники цього рівняння справедливі тільки при прикладенні навантаження із швидкістю  $v \ll 7 + 13 \text{ м/с}$  [5].

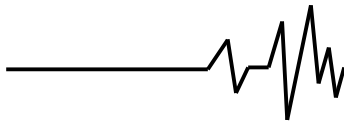
Таким чином, для забезпечення ефективності руйнування слід дотримуватись декількох основних положень:

- Забезпечити оптимальну швидкість прикладення навантаження, (ударного механізму);
- Раціонально підібрати масу ударного механізму;
- Оптимально підібрати площу контакту;

Одним із напрямків в розвитку конструкцій машин з ефективним ударним механізмом є застосування вібраційних дробильних машин. Вібраційні дробарки дозволяють отримати значні зусилля в камері подрібнення, при невеликих енергозатратах у порівнянні із звичайними традиційними машинами [5].

Схеми вібраційних щоківих дробарок можна розділити на наступні груп:

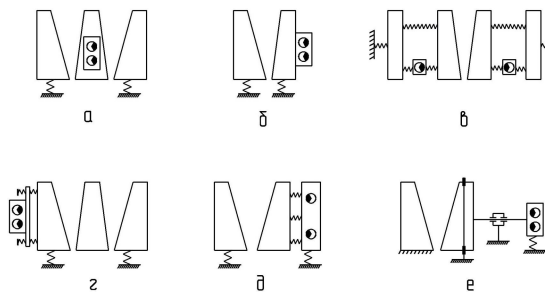
- Вібраційні щоківі дробарки з одною рухомою щокою;
- Вібраційні щоківі дробарки з двома рухомими щоками;
- Вібраційні щоківі дробарки з важким корпусом і маятником;
- Щоківі дробарки з вібратором на корпусі;
- Вібраційні щоківі дробарки з



хвилеводами.

На рисунку 1. зображені схеми основних груп вібраційних щоккових дробарок. Вібраційна щоква дробарка (рис. 1, а), має дві камери подрібнення, а в рухомому щоку вмонтований вібратор, який реалізує вібраційне подрібнення. Недоліком такої конструкції є мала ефективність, великі витрати енергії і неможливість застосування резонансного режиму.

В конструкції (рис. 1, б), вібратор розміщений на корпусі машини. Ця конструкція є також малоефективною, так як виникають складнощі з роботою машини в резонансному режимі, це призводить до великих затрат енергії і малої продуктивності.



**Рис. 1. Схеми вібраційних щоккових дробарок:**

**а, б – з одною рухомою щокою; в – з двома рухомими щоками; г – з важким корпусом і маятником; д – з вібратором на корпусі; е – з хвилеводами**

Дробарки (рис. 1, в) діляться на дві групи: 1) з обертальним коливанням дробильних щік; 2) з прямолінійним коливанням дробильних щік.

В роботі [4] зазначено, що дробарки виконані за такою схемою відрізняються високим ступенем подрібнення, отриманням кондиційного продукту подрібнення та динамічною врівноваженістю. Одною з переваг такої конструкції відноситься можливість плавно регулювати жорсткість пружної підвіски дробильних щік. Це дозволяє досягти великих показників продуктивності і підвищити дробильну здатність.

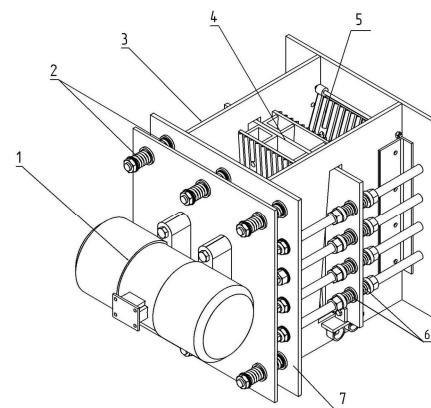
Конструкції дробарок (рис.1, г) відрізняються високим ступенем подрібнення та низькими витратами енергії, при відносно невеликій продуктивності.

Конструктивне виконання машин (рис.1, д) відрізняється більш надійним дебалансним приводом.

Відмінність конструкції (рис.1, е) від попередньо розглянутих машин полягає в наявності проміжного жорсткого або пружного

елемента між вібратором і щокою. Подрібнюваний матеріал в машинах виконаних по такій схемі руйнується від високочастотних дробильних зусиль, які передаються по хвилеводам до щік. Висока частота коливань щік дозволяє суттєво зменшити зусилля, які потрібні для подрібнення матеріалу. Конструкції таких дробарок доводять можливість створення високочастотних дробарок. На основі аналізу існуючих конструкцій була розроблена схема вібраційної щоквої дробарки (рис. 2).

Дробарка складається з активної, проміжної та реактивної мас, які з'єднані попарно між собою пружними елементами 2 і 6.



**Рис. 2. Дослідна вібраційна щоква дробарка**

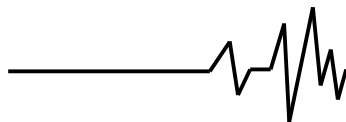
Активна маса дробарки включає в себе вібратор 1, що жорстко приєднаний до сталюї пластини 7. Проміжна маса – станину 3 і нерухомі дробильні плити 5, що жорстко прикріплені до станини. Реактивна маса складається з дробильних плит 9, які жорстко кріпляться до плити 4. Станина машини опирається на раму через пружні елементи.

Працює дробарка наступним чином. При включенні вібратора 1, збурювальне зусилля передається через пружні елементи 2 проміжній масі. Коливання проміжної маси через пружні елементи 6 передаються реактивній масі. Внаслідок одночасної дії проміжної та реактивної маси на матеріал, здійснюється процес подрібнення.

Виконані дослідження підтвердили ефективність її роботи. Новизна конструкції захищена патентами на корисну модель.

### **Висновки**

1. Здійснено аналіз напруженого стану матеріалу, що підлягає подрібненню.



2. Виявлено, що резервом підвищення робочого процесу подрібнення будівельних матеріалів являється застосування вібраційних схем дробарок.

3. Запропонована схема вібраційної дробарки новизна, якої підтверджена патентом на корисну модель.

4. Проведені дослідження засвідчили ефективність робочого процесу подрібнення в камері вібраційної дробарки.

#### Список використаних джерел

1. Баладинский В.Л. Теория разрушения рабочих сред. Київ – КНУБА, 1999 г. – 92 с.

2. В.С.Блохин, В.И.Большаков, Н.Г. Малич. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: Учебное пособие. ч. I. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2006. – 404 с.

3. Ярошев Д.М. Проблемы комплексной механизации и энергетический метод. М., Стройиздат, 1964.

4. Л.А. Вайсберг, Л.П. Зарогатский, В.Я. Туркин. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения / Ред. Л.А.Вайсберг СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. 306 с.

5. Назаренко І.І. Машины для производства будівельних матеріалів: Підручник. – К. : КНУБА, 1999. – 488 с.

6. Броек Д. Основы механики разрушения. – М. : Высш. шк., 1980. – 368 с.

7. Левин В.А., Морозов Е.М., Матвиенко Ю.Г. Избранные нелинейные задачи механики разрушения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 408 с. – ISBN 5-9221-0514-0.

#### Список джерел в транслітерації

1. Baladinskij V.L. Teorija razrushenija rabochih sred. Kiiv – KNUBA, 1999 g. – 92 s.

2. Blohin V.S., Bol'shakov V.I., Malich N.G. Osnovnye parametry tehnologicheskikh mashin. Mashiny dlja dezintegracii tverdykh materialov: Uchebnoe posobie. ch.I. – Dnepropetrovsk: IMA-press. – 2006. – 404 s.

3. Jaroshev D.M. Problemy kompleksnoj mehanizacii i jenergeticheskij metod. M., Strojizdat, 1964.

4. Vajsberg L.A., Zarogatskij L.P., Turkin V.Ja. Vibracionnye droblki. Osnovy rascheta, proektirovanija i tehnologicheskogo primenenija / Red. L.A. Vajsberg SPb.: Izd-vo VSEGEI. 2004. 306 s.

5. Nazarenko I.I. Mashini dlja virobnictva budivelnih materialiv: Pidruchnik. – K. : KNUBA, 1999. – 488 s.

6. Broek D. Osnovy mehaniki razrushenija. – M. : Vyssh. shk., 1980. – 368 s.

7. Levin V.A., Morozov E.M., Matvienko Ju.G. Izbrannye nelinejnye zadachi mehaniki razrushenija. – M. : FIZMATLIT, 2004. – 408 s. – ISBN 5-9221-0514-0.

#### АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВИБРАЦИОННЫХ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК И ТЕНДЕНЦИИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

**Аннотация.** Работа посвящена анализу стадий разрушения в камере измельчения эксцентриковых дробилок и рассмотрению конструктивных особенностей вибрационных щековых дробилок, с целью решения проблемы интенсификации процесса разрушения и определения предпосылок для дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** дробилка, энергоэффективность, интенсификация.

#### ANALYSIS DESIGN OF THE VIBRATION JAW CRUSHERS AND THEIR IMPROVEMENT TREND

**Annotation.** Is devoted to examination of the analyzes the stages of destruction in the grinding chamber of the eccentric crushers and review the design features of the vibration jaw crusher, with purpose of the intensification a process of destruction and determine the prerequisites for further study.

**Key words:** crusher, energy efficiency, intensification.