

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ФЕДОСКІНА ОЛЕНА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 621.926.085:62-868

ДИНАМІКА ВІБРОУДАРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА  
З ПОХИЛОЮ РОБОЧОЮ КАМЕРОЮ

05.02.09 – «Динаміка та міцність машин»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро - 2018

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі гірничих машин та інжинірингу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор

**Франчук Всеволод Петрович**, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Дирда Віталій Ілларіонович**, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України (м. Дніпро), завідувач відділу механіки еластомерних конструкцій гірничих машин;

кандидат технічних наук, доцент

**Романюк Олександр Дмитрович**, Дніпровський державний технічний університет (м. Кам'янське), доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки.

Захист дисертації відбудеться «26» вересня 2018 р. о 13<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 08.080.08 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19, т.(0562)47-24-11

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий «23» серпня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

К.А. Зіборов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Збільшення числа виробництв, в яких потрібне отримання дрібнозернистих матеріалів в порівняно невеликих кількостях, потребує розробки ефективного устаткування для подрібнення з продуктивністю від десятків кілограмів до кількох тон на годину.

Проведений в Дніпропетровському гірничому інституті (зараз Національний технічний університет «Дніпровська політехніка») великий обсяг досліджень дозволив вперше обґрунтувати можливість застосувати віброщоккову дробарку з вертикально розташованою камерою та маятниковим підвісом щік як самостійний подрібнюючий агрегат для отримання порошкових матеріалів, а також у виробничих процесах, що потребують спеціальних технологічних режимів. Реалізований в них високочастотний ударний характер навантаження матеріалу дозволив знизити енергоспоживання і металоємність установки, підвищити ступінь дроблення. Однак, при даній конструктивній схемі обмежені можливості регулювання швидкості руху потоку матеріалу і його силового навантаження. Подальший розвиток створення конструкцій подрібнювача з широкою можливістю керування дезінтеграційним процесом може бути здійснений на базі конструктивної схеми подрібнювача з похилою камерою, проте недостатній обсяг аналітичних і експериментальних досліджень, відсутність методів розрахунку такого класу машин стримує їх практичне застосування. Тому виявлення особливостей руху матеріалу в похилій робочій камері при високочастотному ударному навантаженні з урахуванням його затиснення, встановлення взаємного зв'язку між динамічними, кінематичними і конструктивними параметрами та отримання залежностей для їх визначення, виявлення факторів, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача, є **актуальною науковою задачею**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота є частиною наукового напрямку, що реалізується на кафедрі гірничих машин та інжинірингу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», спрямована на створення машин віброударної дії для отримання порошкового продукту з міцних матеріалів і є складовою досліджень, виконаних в рамках держбюджетної роботи «Розвиток теорії ударних процесів за наявності шару сипкого матеріалу» (ГП-383, №ДР 0106U001382).

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи – розробка методики розрахунку віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою на підставі розроблених математичних моделей та встановлених залежностей між динамічними, кінематичними та конструктивними параметрами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз існуючих конструкцій вібраційних щоккових дробарок і методів їх розрахунку, визначити конструктивну схему базового зразка подрібнювача з урахуванням можливості керування швидкістю руху і силовим динамічним навантаженням матеріалу в робочій камері.

2. Виявити особливості дезінтеграції матеріалу в похилій робочій камері при високочастотному ударному навантаженні.

3. Розробити математичні моделі руху елементів подрібнювача при безударному режимі роботи і руху матеріалу з урахуванням його затиснення в похилій робочій камері, визначити закони руху, встановити взаємозв'язок між динамічними, кінематичними і конструктивними параметрами.

4. Виявити фактори, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача і дозволяють регулювати величину силового навантаження на матеріал.

5. Провести експериментальні дослідження з метою перевірки достовірності отриманих результатів теоретичних досліджень і адекватності математичних моделей, а також встановлення впливу режимів роботи віброударного подрібнювача на його динамічні параметри.

6. Розробити інженерну методику розрахунку і вибору параметрів віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою, конструкція якого створена на рівні винаходу.

**Ідея роботи** - управління швидкістю переміщення матеріалу і його динамічним навантаженням в похилій робочій камері дозволяє створювати раціональні технологічні режими, які забезпечують необхідний ступінь дезінтеграції матеріалу.

**Об'єкт дослідження** - динамічні процеси у віброударному подрібнювачі з похилою робочою камерою з урахуванням технологічних режимів при дезінтеграції матеріалу.

**Предмет дослідження** - динамічні і конструктивні параметри віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою.

**Методи досліджень** - поставлені завдання вирішувалися за допомогою використання при проведенні теоретичних досліджень методів теорії коливань, аналітичної механіки, математичного аналізу, обчислювальної техніки.

Експериментальні дослідження здійснювалися на розробленому лабораторному зразку віброударного подрібнювача з використанням вібровимірювальної, сучасної реєструючої апаратури і швидкісної зйомки. Обробка отриманих даних здійснювалася на ПЕОМ з використанням стандартних методів математичного аналізу.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

#### ***Наукові положення, які виносяться на захист:***

1. Факторами суттєвого впливу на рух активної щоки є координати розміщення вібробуджувача відносно осі підвісу щоки, що пов'язані лінійною залежністю з амплітудою поворотних коливань, та напрям вектору збурювальної сили, що пов'язаний з амплітудою поворотних коливань залежністю, яка має максимум при куті напрямку 1,6 рад.

2. Шлях, який проходить частинка матеріалу за період коливань пасивної щоки в похилій робочій камері подрібнювача, залежить від фазових кутів початку та завершення затиснення матеріалу, а також коефіцієнту режиму роботи, який обернено пропорційний амплітуді, квадрату частоти коливань пасивної

шоки, куту дії збурювальної сили віброзбуджувача та прямо пропорційний прискоренню вільного падіння і куту нахилу поверхні транспортування.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримана якісна картина процесу руйнування і особливості руху матеріалу в похилій робочій камері при високочастотному ударному навантаженні, яка свідчить про формування (наявність) нижнього демпфуючого шару готової фракції, що знижує величину динамічного силового навантаження в момент контакту з неподібненою частинкою.

2. Вперше розроблено математичну модель віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою та маятниковим підвісом шоки з двохвальним інерційним віброзбуджувачем, що описує рух та визначає амплітудно-частотну характеристику елементів подрібнювача при безударному режимі його роботи, встановлює взаємний зв'язок динамічних, кінематичних та конструктивних параметрів та виявляє фактори, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача.

3. Вперше обґрунтовано за допомогою математичного моделювання п'ять характерних режимів руху матеріалу з урахуванням його затиснення в похилій робочій камері, що визначаються коефіцієнтом режиму роботи, який обернено пропорційний амплітуді, квадрату частоти коливань пасивної шоки, куту дії збурювальної сили віброзбуджувача, та прямо пропорційний, прискоренню вільного падіння і куту нахилу поверхні транспортування.

4. Вперше обґрунтовано способи управління величиною амплітуди поворотних коливань активної шоки за рахунок зміни координат розміщення віброзбуджувача на активній щоці та напряму вектору збурювальної сили, виведені умови раціонального розміщення віброзбуджувача на активній щоці.

5. Вперше розроблено математичну модель взаємодії матеріалу зі шоками та встановлено залежність, що дозволяє визначити швидкість руху матеріалу на окремих ділянках похилої робочої камери, яка пов'язана з технологічними, конструктивними і динамічними параметрами.

6. Вперше встановлено особливості затиснення матеріалу, що властиві вібраційному подрібнювачу з похилою робочою камерою, при яких має місце наявність інерційної сили в напряму його виштовхування та знакозмінної сили в зоні контакту, на підставі чого розроблено математичну модель та отримано залежності для визначення кута захоплення матеріалу з урахуванням динамічних процесів в зоні контакту.

7. Вперше, на підставі експериментальних досліджень, визначено вплив недробимого тіла на динаміку подрібнювача при проходженні їм робочої камери, включаючи режим розклинювання щік, отримано характер перехідних процесів при пуску і зупинці подрібнювача, встановлено умови сталого режиму роботи подрібнювача, отримана залежність, яка показує зміну зусилля при динамічній взаємодії активної шоки з матеріалом.

**Обґрунтованість і достовірність** результатів роботи забезпечені: коректністю поставлених задач і прийнятих припущень при розробці математичних

моделей; використанням апробованих аналітичних методів теорії коливань, аналітичної механіки, математичного аналізу; працездатністю створеного зразка подрібнювача; коректним проведенням експериментальних досліджень із застосуванням сучасної вимірювальної і реєструючої апаратури; задовільною збіжністю аналітично отриманих результатів з експериментальними даними, розбіжність з якими не перевищує 15%.

**Наукове значення одержаних результатів** полягає у визначенні особливостей руху матеріалу в похилій робочій камері при високочастотному ударному навантаженні, виявленні факторів, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача, та отриманні на підставі розроблених математичних моделей аналітичних залежностей для визначення взаємного зв'язку динамічних, кінематичних та конструктивних параметрів.

**Практичне значення роботи.** Вперше розроблена методика розрахунку віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою та технічні рішення машин, на які отримано патенти України [11 ... 17].

**Реалізація результатів роботи.** Інженерна методика розрахунку і вибору параметрів віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою прийнята для використання при розробці машин віброударної дії Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Інститутом з проектування гірничих підприємств Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при розгляді закладних комплексів вугільних шахт. Результати досліджень використані в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Основи динаміки машин» студентами спеціальності «Гірничі машини і комплекси».

**Особистий внесок здобувача.** Автором повністю виконаний аналіз конструктивних рішень і теоретичних досліджень в області створення вібраційних шоківих дробарок. На основі отриманих результатів, з урахуванням актуальності теми, сформульовані мета, ідея і завдання необхідних досліджень віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою. Теоретичні та експериментальні дослідження, а також аналіз отриманих результатів виконано автором самостійно і, частково, при безпосередній участі наукового керівника. Особисто автором розроблено конструкторську документацію на лабораторний зразок віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою, програма і методика проведення досліджень.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися: на Міжнародній науково-технічній конференції «Теория и практика процессов измельчения и разделения» (Одесса, 1994 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблемы механики горно-металлургического комплекса» (Дніпропетровськ, 2004 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Интенсификация технологических процессов обогащения полезных ископаемых» (Маріуполь, 2004 р.); VII, VIII, XIV, XVI Міжнародних науково-технічних конференціях «Вібрації в техніці та технологіях» (Львів, 2006, Дніпропетровськ, 2007, 2015, Вінниця, 2017 р.р.); XI Міжнародної науково-практичної конференції зі збагачення корисних копалин (Бер-

дянськ, 2008 р.); Потураївські читання (Дніпропетровськ, 2011, 2014, 2015, 2017, 2018 р.р.); Другій науково-технічній конференції студентів, аспірантів и молодих вчених «Наукова весна - 2011» (Дніпропетровськ, 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения материалов» (Одесса, 2013 р.); Міжнародних конференціях «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту» (Дніпропетровськ, 2014, 2016, 2017 р.р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Форум гірників-2017» (Дніпро, 2017 р.).

**Публікації.** Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 28 друкованих роботах, з них: 10 статей в фахових наукових виданнях (одне входить до наукометричної бази Index Copernicus) 11 - матеріали конференції, 7 - патенти України. 11 друкованих робіт без співавторів.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 240 сторінок, в складі яких 141 сторінок друкованого тексту основної частини, 58 сторінок, повністю заповнених рисунками, список використаних джерел з 168 найменувань на 18 сторінках і 6 додатків на 12 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету й задачі досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень, наукові положення, новизну і практичну значущість роботи, подано апробацію результатів дисертації, її загальну структуру та кількість публікацій.

У **першому розділі** виконано аналіз патентної та технічної літератури з метою визначення базової конструктивної схеми віброударного подрібнювача з широкою можливістю керування дезінтеграційним процесом і сучасний стан досліджень в цій області.

Похиłe розташування робочої камери, за рахунок руху матеріалу по площині, дозволяє здійснювати регулювання швидкісного режиму, що є одним з керівних факторів силового навантаження матеріалу. Не дивлячись на конструктивну відмінність віброподрібнювачів з похилим і вертикальним розташуванням камер дроблення, вони відносяться до віброударних систем, дослідженням яких займалися Блехман І.І., Лавров Б.П., Туркін В.Я. та ін. в НВК ВАТ «Механобртехніка», Потураєв В.М., Франчук В.П., Дирда В.І., Тарасенко О.А., Федоскін В.О., Плахотнік В.В., Томурко О.А. та ін. в НТУ «Дніпровська політехніка».

Аналіз конструктивних схем вібраційних щоккових дробарок показує, що для подрібнення міцних матеріалів і створення необхідних режимів силового навантаження, однією з раціональних схем є подрібнювач з похилою робочою

камерою, масивним корпусом, маятниковим підвісом щоки і двохвальним вібробуджувачем.

У другому розділі досліджена розроблена математична модель подрібнювача з метою встановлення взаємного зв'язку між динамічними, кінематичними, конструктивними параметрами та визначення факторів, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача.

На відміну від раніше виконаних досліджень розрахункова схема (рис.1)

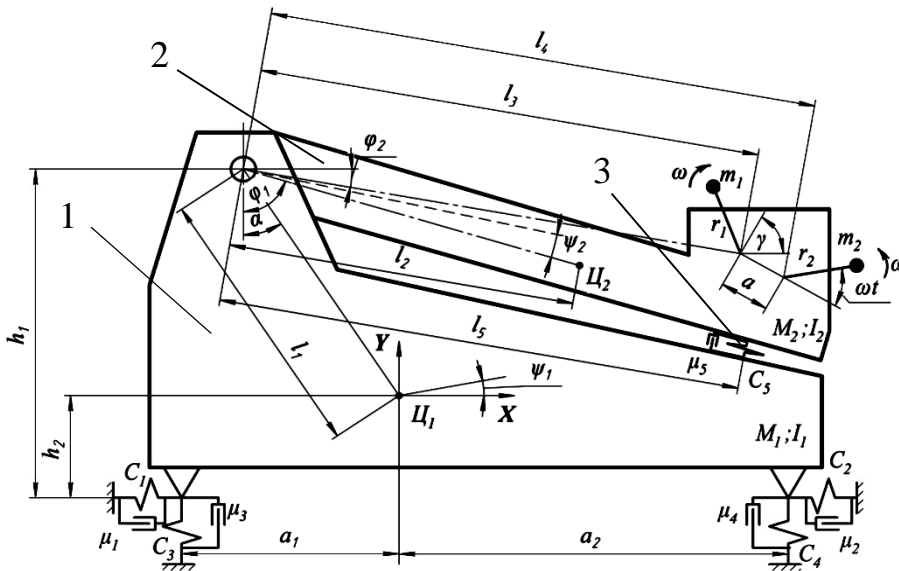


Рис.1 Розрахункова схема подрібнювача

включає пасивну щоку (корпус) 1 і активну щоку 2, пов'язану з нею пружним елементом 3. Щоки утворюють похилу робочу камеру, що дозволяє здійснювати процес дезінтеграції матеріалу з регульованим силовим навантаженням. Положення системи визначається узагальненими координатами:  $X$ ,  $Y$  - положенням центру мас пасивної

щоки;  $\psi_1$  - кутом повороту пасивної щоки щодо її центру мас;  $\psi_2$  - кутом повороту активної щоки щодо осі підвісу. Система диференціальних рівнянь руху елементів подрібнювача має вигляд

$$\begin{aligned} b_1 \ddot{X} - b_2 \ddot{\psi}_1 + b_3 \ddot{\psi}_2 + b_4 \mu \dot{X} + b_{15} \mu \dot{\psi}_1 + b_4 X + b_{15} \psi_1 &= Q_1 \\ b_1 \ddot{Y} + b_5 \ddot{\psi}_1 + b_6 \ddot{\psi}_2 + b_7 \mu \dot{Y} + b_{16} \mu \dot{\psi}_1 + b_7 Y + b_{16} \psi_1 &= Q_2 \\ -b_2 \ddot{X} + b_5 \ddot{Y} + b_9 \ddot{\psi}_1 + b_{10} \ddot{\psi}_2 + b_{15} \mu \dot{X} + b_{16} \mu \dot{Y} + b_{11} \mu \dot{\psi}_1 + b_{15} X + & \\ + b_{16} Y + b_{11} \psi_1 &= -Q_3 \\ b_{12} \ddot{X} + b_6 \ddot{Y} + b_{10} \ddot{\psi}_1 + b_{13} \ddot{\psi}_2 + b_{14} \mu \dot{\psi}_2 + b_{14} \psi_2 &= Q_4 \end{aligned} \quad (1)$$

де:  $b_i$  - коефіцієнти, що відображають конструктивні параметри подрібнювача;

$\mu$  - коефіцієнт, що відображує дисипативні сили;

$Q_i$  - коефіцієнти, що відображають параметри вібробуджувача.

Отримана, виходячи з рішення системи (1), амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) віброударного подрібнювача при масі пасивної щоки 100 кг (рис.2) має резонансну зону, що охоплює значний частотний діапазон, захоплюючи область робочих частот ( $\omega = 90 \dots 150$  рад/с).

Збільшення маси пасивної щоки приводить до зміщення резонансної зони в бік низьких частот. Аналіз отриманих результатів (рис.3) показує, що найбільш інтенсивне зниження значень верхньої резонансної частоти відбувається



до співвідношення мас активної і пасивної щоки 1:4. При співвідношенні мас 1:8 і більше, верхня резонансна частота практично не змінює свого значення.

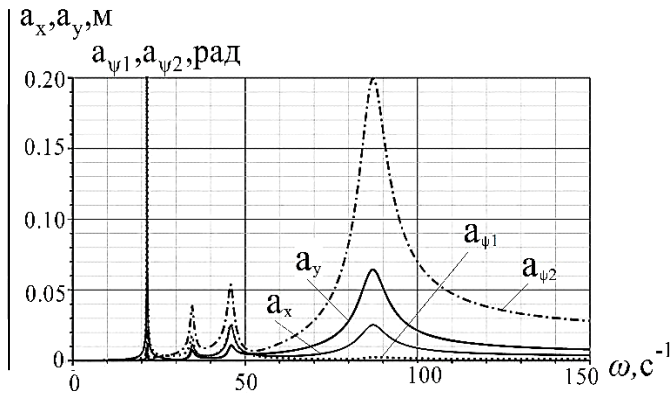


Рис.2. АЧХ подрібнювача  
 $a_x, a_y$  - амплітуди горизонтальних та вертикальних коливань пасивної щоки;  
 $a_{\psi 1}, a_{\psi 2}$  - амплітуди поворотних коливань активної та пасивної щоки

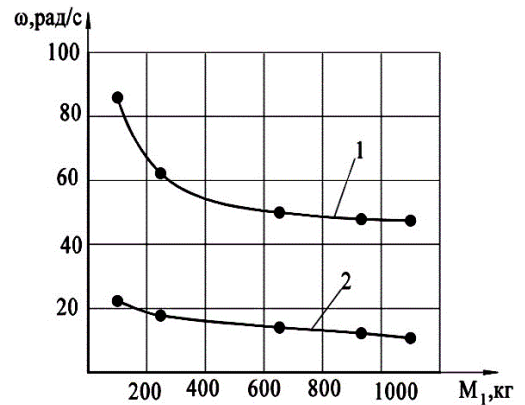


Рис.3. Інтенсивність зміни значень резонансних частот  
 1- верхня резонансна частота;  
 2- нижня резонансна частота

Таким чином, пасивна щока є параметром, що дозволяє змінювати ширину області резонансних частот і здійснювати зсув області за частотною віссю.

Управління величиною амплітуди поворотних коливань активної щоки можливо за рахунок зміни координат розміщення віброзбуджувача на активній щоці (рис. 4,а) та напряму вектору збурювальної сили (рис. 4,б). При цьому величина амплітуди поворотних коливань  $a_{\psi 2}$  активної щоки на розглянутому інтервалі розміщення віброзбуджувача змінюється більш ніж в 2 рази, що призводить до зміни ударної швидкості в момент контакту щоки з матеріалом при незмінній швидкості руху матеріалу і є способом управління динамічним силовим впливом на матеріал з боку активної щоки.

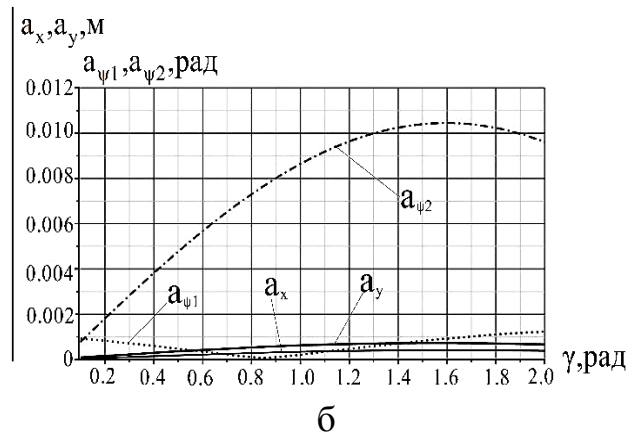
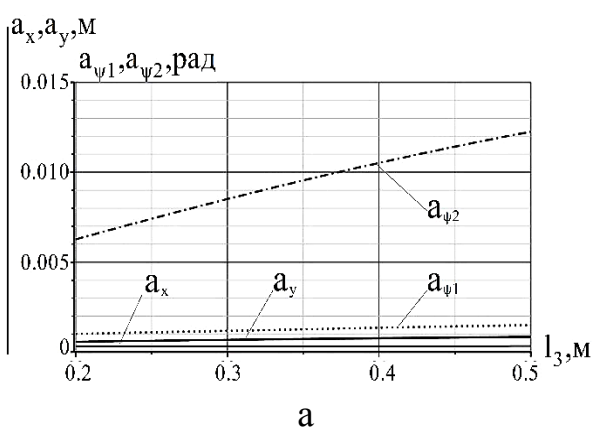


Рис.4. Залежність амплітуд коливань елементів дробарки від:  
 а - положення віброзбуджувача щодо осі підвісу активної щоки,  
 б - напряму вектору збурювальної сили віброзбуджувача

Кут  $\gamma$  напрямку вектору збудувальної сили є параметром, що суттєво впливає на зміну амплітудного значення кута повороту активної щоки  $a_{\psi 2}$ , при цьому показує наявність екстремальних значень амплітуди поворотних коливань активної щоки при  $\gamma = 1,6$  рад, та зумовлює управління швидкістю руху матеріалу в камері дроблення і ударною швидкістю зі зміною величини кута  $\gamma$ .

У цьому розділі розглядаються також дослідження, які проводились з метою визначення параметрів руху матеріалу в робочій камері як складових системи управління силовим навантаженням матеріалу при його дезінтеграції.

Рух матеріалу в подрібнювачі з похилою камерою можна розглядати як процес вібраційного переміщення матеріалу, що зазнає періодичних ударів, при цьому за один період коливань пасивної щоки матеріал переходить зі стану руху в стан затиснення.

Поперечний розмір шматка (рис.5), після взаємодії з щокою в  $i$ -тому перерізі робочої камери, складе

$$h_i = h_{30} - l_i \left( \tan \frac{\psi_2}{2} \cos \alpha_3 + \tan \alpha_3 \right)$$

Амплітуда коливань щоки в  $i$ -тому перерізі робочої камери

$$A_i = l_i \tan \frac{\psi_2}{2} \cos \alpha_3$$

Поточний зазор між шматком матеріалу і поверхнею рухомої щоки в  $i$ -тому перерізі робочої камери складе

$$\delta_i(\omega t) = A_i - A_i \sin \omega t - S(\omega t) \tan \alpha_3$$

де  $S(\omega t)$  – відстань, пройдена шматком в проміжку між зіткненнями.

Рівність нулю поточного зазору визначає фазовий кут  $\varphi_k = \omega t_k$ , початок затиснення шматка в робочій камері. На графічній залежності (рис.6) крива 1 характеризує зміну зазору при переміщенні щоки, криві 2, 3, 4 характеризують зміну зазору при переміщенні шматка матеріалу. Абсциса точки перетину кривих визначає значення фазового кута, при якому зазор між матеріалом і поверхнями щік дорівнює нулю.

0

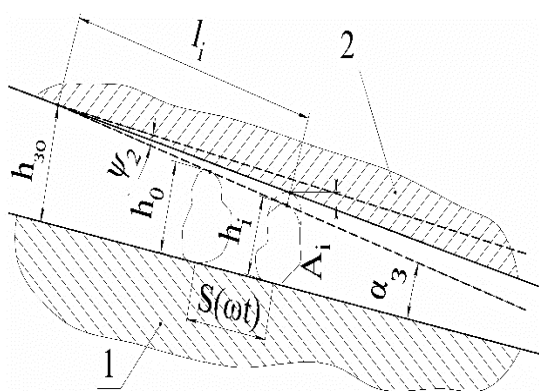


Рис.5. Розрахункова схема взаємодії шматка зі щоками

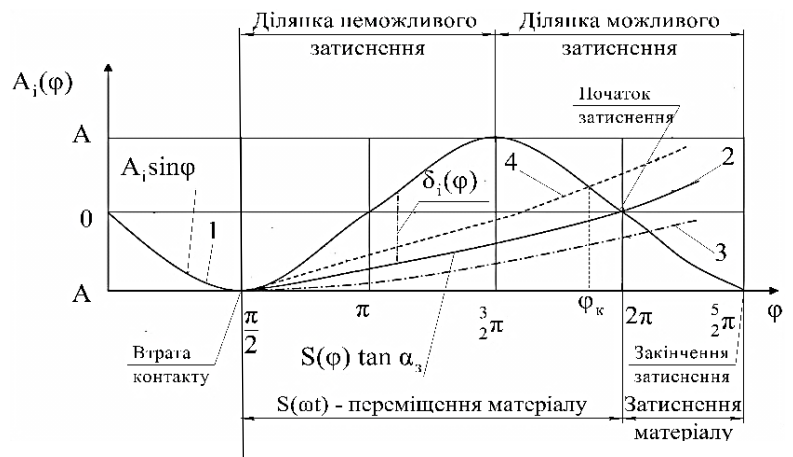


Рис.6. Графічна залежність визначення фазового кута затиснення матеріалу

Умова знаходження частинки на поверхні пасивної щоки, має вигляд

$$\sin \omega t < \frac{g \cos \alpha_T}{A \omega^2 \sin \beta} = Z_0 \quad (2)$$

Рух частинки до розвантажувального вікна (вперед) виконується за умови

$$\sin \omega t > -\frac{g \sin(\alpha_T - \rho)}{A \omega^2 \cos(\beta - \rho)} = Z_+ \quad (3)$$

Умова руху частинки від розвантажувального вікна подрібнювача(назад)

$$\sin \omega t < -\frac{g \sin(\alpha_T + \rho)}{A \omega^2 \cos(\beta + \rho)} = Z_- \quad (4)$$

Проміжок, що визначає зупинку частинки на поверхні пасивної щоки, має вигляд:  $Z_- < Z_0 < Z_+$

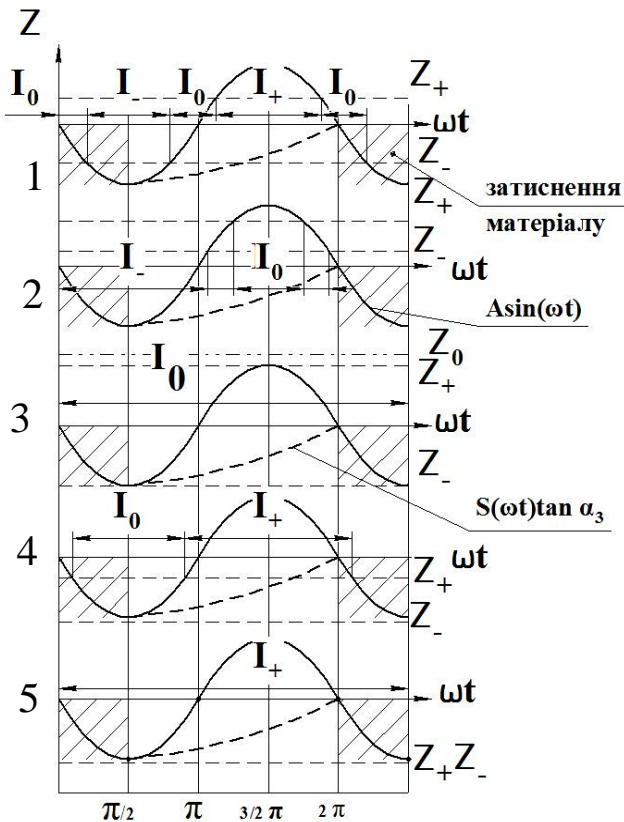


Рис.7. Режимы руху матеріалу

Однією з суттєвих особливостей є наявність потоку матеріалу, що має два шари: верхній – надто крупна фракція, яка потребує подальшого подрібнення і нижній - готова фракція, яка є демпфуючим шаром. Також визначено, що при наявності режимів 1, 2 (рис.7), в проміжку затиснення шматка, діє інерційна сила  $J_B$  в напрямку його виштовхування (рис.8).

Тоді, граничний кут захоплення  $\alpha_3$ , при якому відсутнє виштовхування шматка, визначиться з умови:

$$\Sigma X = F_1 + F_2 \cos \alpha_3 - P_{\text{щ}} \sin \alpha_3 - J_B = 0$$

$$\Sigma Y = N - P_{\text{щ}} \cos \alpha_3 - F_2 \sin \alpha_3 = 0$$

де  $F_1, F_2$  – сили тертя між шматком та щоками

Отримані умови руху частинки матеріалу (2, 3, 4) з урахуванням його затиснення в робочій камері дозволили виявити п'ять характерних режимів, які представлені в графічній формі (рис.7).

Відстань, пройдена частинкою матеріалу за період коливань щоки, відмінна для кожного з режимів і визначається як сумарний шлях, пройдений частинкою в кожному інтервалі (вперед  $I_+$ , назад  $I_-$ , зупинки  $I_0$ ) розглянутого періоду.

У третьому розділі розглядаються дослідження, що проводились з метою визначення взаємозв'язку між конструктивними, динамічними і технологічними параметрами та виявлення особливостей дезінтеграції матеріалу, властивих віброударному подрібнювачу з похилою робочою камерою.

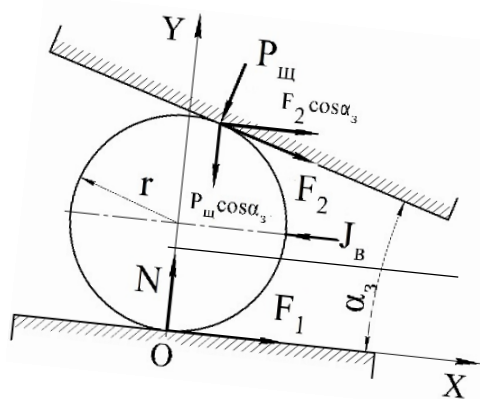


Рис.8. Схема до визначення кута захоплення

На підставі отриманих осцилограм взаємодії активної щоки з матеріалом виявлено, що протягом всього періоду затиснення матеріалу силою  $P_{щ}$  і реакцією  $N$  активна щока знаходиться під дією високочастотного знакозмінного прискорення. Отже, на затиснутий шматок матеріалу діє також знакозмінна сила, спрямована перпендикулярно до робочої поверхні активної щоки. Тоді кут захоплення віброударного подрібнювача

$$\alpha_3 = \arctan \left( \frac{2f^*}{1-f^{*2}} - \frac{J_B}{P_{щ}(1-f^{*2})} \right)$$

$f^*$  - ефективний коефіцієнт тертя

$$f^* = f \left( 1 - \frac{\Phi}{N} \right),$$

$\Phi$  - знакозмінна сила, величина якої отримана з експериментальних даних.

Отримана залежність визначає кут захоплення з урахуванням динамічних процесів в зоні контакту матеріалу з щокою, що властиві віброударному подрібнювачу з похилою робочою камерою.

На підставі аналізу конструктивних схем розміщення вібробудувача на активній щоці подрібнювача, з урахуванням отриманих залежностей швидкості і режимів руху матеріалу в робочій камері, визначена раціональна схема розташуванням вібробудувача.

У даному розділі розглянута також пропускна здатність подрібнювача як функція конструктивних і кінематичних параметрів, визначені умови, що дозволяють підвищити ефективність використання робочої камери, на підставі яких розроблена математична модель криволінійного профілю робочої камери та методика його розрахунку.

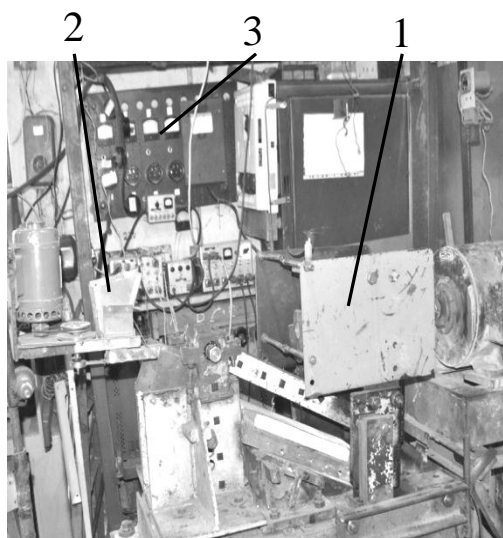


Рис. 9. Лабораторна установка

**Четвертий розділ** відображає експериментальні дослідження, які проводились на лабораторній установці (рис.9), що складається з віброударного подрібнювача 1 з похилою робочою камерою, вібраційного живильника 2, вимірювальної та реєструючої апаратури 3, з метою визначення достовірності теоретичних досліджень і прийнятих при цьому припущень, впливу перехідних процесів і недробимого тіла на динаміку подрібнювача. Достовірність теоретичних досліджень оцінена за допомогою порівняння значень власних частот коливань основних елементів подрібнювача (активної і пасивної щоки), отриманих аналітичним і експериментальним способом.

Відносна похибка не перевищує 15%. Важливим параметром є резонансна частота (остання), що передує зоні робочого режиму, відносна похибка якої становить 6,6%.

Аналіз осцилограм пуску і зупинки подрібнювача показав, що перехідні процеси закінчуються досить швидко, в межах 10-20 коливань. Час виходу на робочий режим складає 2,7 секунди, а час вибігу 3,4 секунди.

Переробка матеріалів з використанням операції подрібнення не виключає можливості потрапляння в камеру подрібнювача недробимого тіла.

Порівняння отриманих осцилограм дроблення матеріалу (шунгіт) і недробимого тіла (рис.10) показують ідентичність процесу, до моменту руйнування шматка шунгіту, характерного зміною коливань (крива 1) активної щоки, аналогічно перехідному процесу при пуску подрібнювача, розсуенням активної щоки і зростанням її прискорення (крива 2), з подальшим переходом до стійкої величини розмаху коливань і прискорень. У завершальній стадії процесу розклинювання (рис.10, б) щік недробимим тілом відбувається зміна форми коливань активної щоки, зниження її прискорення, зменшення величини розмаху до нульового значення і припинення подрібнення.

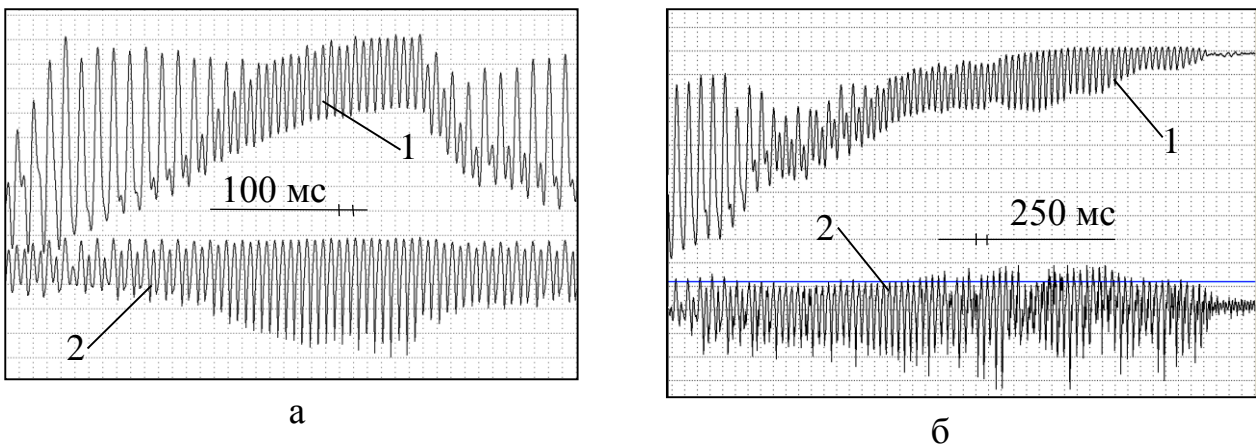


Рис.10. Фрагменти осцилограм

а - дроблення шунгіту

б - розклинювання щік недробимим тілом

1 – переміщення активної щоки;

2 - прискорення активної щоки.

На підставі експериментальних досліджень впливає, що стійкий режим роботи подрібнювача забезпечується при виконанні умови:

$$0,4 < \lambda = p/\omega < 0,7.$$

$p$  – частота власних коливань активної щоки

$\omega$  - частота вимушених коливань активної щоки

**П'ятий розділ** виконаний на підставі проведених досліджень з метою отримання алгоритму розрахунку і використання його при розробці конструкторської документації віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою. Надані залежності для розрахунку: продуктивності подрібнювача; геометричних параметрів робочої камери та координат

розміщення вібробуджувача; мас і моментів інерції, власних частот і амплітуд коливань елементів подрібнювача; швидкості руху матеріалу.

У розділі також представлені конструктивні рішення подрібнювачів, що належать до даного класу, новизна яких підтверджена патентами України.

## **ВИСНОВКИ**

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна наукова задача, яка полягає у встановленні особливостей руху матеріалу в похилій робочій камері віброударного подрібнювача при високочастотному ударному навантаженні з урахуванням його затиснення, взаємного зв'язку динамічних, кінематичних, конструктивних параметрів та виявлення факторів, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача, та отримання залежностей для їх визначення, а саме встановлено, що факторами суттєвого впливу на рух активної щочки є координати розміщення вібробуджувача відносно осі підвісу щочки, що пов'язані лінійною залежністю з амплітудою поворотних коливань, та напрям вектору збурювальної сили, що пов'язаний з амплітудою поворотних коливань залежністю, яка має максимум при куті напряду  $1,6$  рад, також визначено, що шлях, який проходить частинка матеріалу за період в похилій робочій камері подрібнювача, залежить від фазових кутів початку та завершення затиснення матеріалу, а також коефіцієнту режиму роботи, який обернено пропорційний амплітуді, квадрату частоти коливань пасивної щочки, куту дії збурювальної сили вібробуджувача, прямо пропорційний, прискоренню вільного падіння і куту нахилу поверхні транспортування. На цій основі розроблені нові конструктивні рішення та методики розрахунку віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою.

Основні науково-практичні результати роботи:

1. На підставі аналізу патентів і літературних джерел встановлено, що єдиним типом обладнання для подрібнення, в якому можна керувати швидкістю руху матеріалу і величиною його силового навантаження, в процесі налаштування й експлуатації, є віброударний подрібнювач з похилою робочою камерою, масивним корпусом, маятниковим підвісом щочки і двохвальним інерційним вібробуджувачем, що розташований на активній щочці. Недостатній обсяг аналітичних і експериментальних досліджень стримує його практичне застосування.

2. Вперше розроблено математичну модель віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою та маятниковим підвісом щочки з двохвальним інерційним вібробуджувачем, що описує рух та визначає амплітудно-частотну характеристику елементів подрібнювача при безударному режимі його роботи, встановлює взаємний зв'язок динамічних, кінематичних та конструктивних параметрів та виявляє фактори, які суттєво впливають на режим роботи подрібнювача.

3. Вперше обґрунтовано за допомогою математичного моделювання п'ять характерних режимів руху матеріалу з урахуванням його затиснення в похилій робочій камері, що визначаються коефіцієнтом режиму роботи, який обернено пропорційний амплітуді, квадрату частоти коливань пасивної щоби, куту дії збурювальної сили віброзбуджувача, прямо пропорційний прискоренню вільного падіння і куту нахилу поверхні транспортування.

4. Вперше отримана якісна картина процесу руйнування і особливості руху матеріалу в похилій робочій камері при високочастотному ударному навантаженні, яка свідчить про формування (наявність) нижнього демпфуючого шару готової фракції, що знижує величину динамічного силового навантаження в момент контакту з неподібненою частинкою.

5. Вперше розроблено методику розрахунку криволінійного профілю робочої камери, що встановлює взаємозв'язок між динамічними характеристиками активної щоби, конструктивними параметрами робочої камери і швидкістю руху матеріалу на окремих ділянках транспортуючої поверхні пасивної щоби.

6. Вперше, на підставі аналізу отриманих осцилограм, що описують взаємодію щик подрібнювача з шматком матеріалу, встановлено особливості затиснення матеріалу, що властиві вібраційному подрібнювачу з похилою робочою камерою, при яких має місце наявність інерційної сили в напрямку його виштовхування та знакозмінної сили в зоні контакту, на підставі чого розроблено математичну модель та отримано залежності для визначення кута захоплення матеріалу з урахуванням динамічних процесів в зоні контакту.

7. Вперше обґрунтовано способи управління величиною амплітуди поворотних коливань активної щоби за рахунок зміни координат розміщення віброзбуджувача на активній щоби та напрямку вектору збурювальної сили; також виведені умови раціонального розміщення віброзбуджувача на активній щоби подрібнювача. Розроблені способи дозволяють на стадії пуско-налагоджувальних робіт ефективно виконувати настроювання подрібнювача на заданий режим і в період експлуатації вести технологічний процес, встановлюючи необхідне дозоване навантаження для конкретного матеріалу з урахуванням його фізико-механічних властивостей.

8. Достовірність теоретичних досліджень перевірена експериментально на створеному лабораторному зразку віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою, маятниковим підвісом щоби і двохвальним інерційним віброзбуджувачем. Відносна похибка порівнюваних результатів не перевищує 15%.

9. Вперше на підставі експериментальних досліджень визначено вплив недробимого тіла на динаміку подрібнювача при проходженні їм робочої камери, включаючи режим розклинювання щик, отримано характер перехідних процесів при пуску і зупинці подрібнювача, встановлено умови сталого режиму роботи подрібнювача, отримана форма кривої, яка описує зміну зусилля при динамічній взаємодії активної щоби з матеріалом, встановлено, що стійкий режим роботи подрібнювача забезпечується при умові:  $0,4 < \lambda < 0,7$ .

10. Вперше, на підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, розроблена інженерна методика розрахунку і вибору параметрів віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою, розроблені конструкції віброударних подрібнювачів (захищених патентами України), що забезпечують реалізацію різних схем дозованого силового впливу на матеріал з боку активної щоки.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федоскина Е.В. Об оценке производительности вибрационной щёковой дробилки / Е.В. Федоскина // Обогащение полезных ископаемых: Научн.-техн. сб. – Д., 2004. - Вып.20(61). - С. 34 - 38.
2. Франчук В.П. Влияние положения центра масс корпуса вибрационной щёковой дробилки с наклонной камерой дробления на параметры колебаний щеки / В.П. Франчук, Е.В. Федоскина // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – Д., 2006. - Вип.25(66) - 26(67). – С. 29 - 33.
3. Франчук В.П. Влияние места установки вибровозбудителя на динамику вибрационной щёковой дробилки с наклонной камерой дробления / В.П. Франчук, Е.В. Федоскина // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський наук.-техн. журн. - Вінниця: ВДАУ, 2006. - №2(44). - С.78 - 81.
4. Франчук В.П. К вопросу эффективности дробления материала в вибрационной щёковой дробилке / В.П. Франчук, В.В. Плахотник, Е.В. Федоскина // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – Д., 2008. - Вип. 33(74). – С. 56 - 61.
5. Франчук В.П. Влияние параметров корпуса на динамику вибрационной щёковой дробилки с наклонной камерой дробления / В.П. Франчук, В.В. Плахотник, Е.В. Федоскина // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський наук.-техн. журн. - Вінниця: ВДАУ, 2008. - №2(51). - С. 46 - 48.
6. Плахотник В.В. Динамика дробилки в режиме виброударного дробления / В.В. Плахотник, Е.В. Федоскина // Геотехнічна механіка: Міжвід.зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2010. - Вип.85. - С. 88 - 93.
7. Франчук В.П. Влияние параметров щеки на динамику вибродробилки с наклонной камерой дробления / В.П. Франчук, Е.В. Федоскина // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський наук.-техн. журн. - Вінниця: ВНАУ, 2010. - №1(57). - С. 72 - 74.
8. Федоскина Е.В. Анализ движения элементов виброщёковой дробилки в безударном режиме / Е.В. Федоскина // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Д., 2011. - №2. - С. 117 - 120.
9. Федоскина Е.В. Особенности движения материала в наклонной камере вибрационной щёковой дробилки / Е.В. Федоскина // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. - №64(1037), - С. 188 - 192.



10. Франчук В.П. Предпосылки использования виброщёковых дробилок в технологическом процессе разделки слитков ферросплавов / В.П. Франчук, Е.В. Федоскина, Ж.И. Кузбаков // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський наук.-техн. журн. Вінниця: ВНАУ, 2017. - №4(87). - С. 87 - 90.

11. Декл. пат. на винахід 70113А Україна, МПК В02С1/02 Вібраційна щокова дробарка / В.П. Франчук, В.В. Плахотнік, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - 20031212573; заявл. 26.12.2003; опубл.15.09.2004, Бюл. №9.

12. Пат. на винахід 81515С2 Україна, МПК В02С19/00, В02С1/00 Спосіб настроювання віброщогової дробарки з похилою камерою дроблення і пристрій для його реалізації / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - а200600842; заявл. 31.01.2006; опубл.10.01.2008, Бюл. №9.

13. Пат. на корисну модель 32607U Україна, МПК В02С19/00, В02С1/00 Вібраційна щокова дробарка / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - u200714974; заявл. 28.12.2007; опубл.26.05.2008, Бюл. №10.

14. Пат. на винахід 89439С2 Україна, МПК В02С1/00 Вібраційна щокова дробарка / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - а200805585; заявл. 29.04.2008; опубл.25.01.2010, Бюл. №2.

15. Пат. на винахід 109668С2 Україна, МПК В08В17/00 Герметизатор / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна, М.М. Єрісов, В.Ф. Куниця; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - а201303710; заявл. 26.03.2013; опубл.25.09.2015, Бюл. №18.

16. Пат. на винахід 111339С2 Україна, МПК В02С1/02 Вібраційна щокова дробарка / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - а201303709; заявл. 26.03.2013; опубл.25.04.2016, Бюл. №8.

17. Пат. на винахід. 114513 Україна, МПК В02С1/02;Н01В15/00 Спосіб і технологічна лінія для відділення ізоляційного покриття від металу. / В.П. Франчук, О.В. Федоскіна; заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» - а201414073; заявл. 29.12.2014; опубл.26.06.2017, Бюл. №12.

18. Федоскіна Е.В. Экспериментальные исследования движения корпуса вибрационной щёковой дробилки с наклонной камерой дробления / Е.В. Федоскіна // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014. Сб. научн. трудов международной конф., Днепропетровск, 2014 - С. – 115 - 121.

19. Федоскіна Е.В. Взаимодействие щеки с недробимым телом в наклонной камере виброщёковой дробилки / Е.В. Федоскіна // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016. Сб. научн. трудов международной конф., Днепропетровск, 2016 - С. – 46 - 52.

20. Олишевская В.Е. Перспективы использования вибрационных щёковых дробилок для переработки автомобильных аккумуляторов / В.Е. Олишевская, Е.В. Федоскіна // Современные инновационные технологии подготов-

ки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016. Сб. научн. трудов международной конф., Днепропетровск, 2016.-С. – 209 - 214.

21. Федоскина Е.В. Особенности установки привода виброщёковой дробилки с наклонной камерой дробления / Е.В. Федоскина // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2017. Сб. научн. трудов международной конф., Днепр 2017, - С. – 149 - 155.

22. Плахотник В.В. Особенности движения материала в наклонной камере дробления вибрационной щёковой дробилки / В.В. Плахотник, Е.В. Федоскина // Теория и практика процессов измельчения и разделения. Материалы конф. Ч1. Одесса, 1994 - С. 87 - 89.

23. Федоскина Е.В Шляхи підвищення продуктивності вібраційних щоківих дробарок. VI Міжнародна науково-техн. конф. «Проблеми механіки горно-металургічного комплексу». Днепропетровск, 2004. – С. 12.

24. Федоскина Е.В. Движение недробимого тела в наклонной камере виброщёковой дробилки [Электронный ресурс] / Е.В. Федоскина // Потураївські читання: матеріали XII всеукр. наук.-техн. конф., 20 січ. 2014р.[присвяч.. 92-й річниці з дня нар. акад. НАН України В.М. Потураєва: тези доп.] - Д.: НГУ, 2014, - Режим доступу: <http://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/Publikations/2014/poturaev-2014.php>.

25. Кузбаков Ж.И. Применение виброщёковых дробилок в линии производства феррохрома / Ж.И. Кузбаков, В.П. Франчук, Е.В. Федоскина // Потураївські читання: матеріали XII всеукр. наук.-техн. конф., 20 – 21 січ. 2015р.[присвяч. 93-й річниці з дня нар. акад. НАН України В.М. Потураєва] / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. - С. 14.

26. Федоскина Е.В. Движение материала в наклонной камере виброщёковой дробилки / Е.В. Федоскина // Потураївські читання: матеріали XII всеукр. наук.-техн. конф., 20 – 21 січ. 2015р.[присвяч. 93-й річниці з дня нар. акад. НАН України В.М. Потураєва] / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. - С. 31.

27. Федоскина Е.В. Скорость движения материала в наклонной камере виброщёковой дробилки с учётом его зажатия / Е.В. Федоскина // Вібрації в техніці та технологіях, тези доп. XIV Міжнародної наук.-техн. конф. Дніпропетровськ, 2015. - С. 66 - 67.

28. Федоскина Е.В. Предпосылки использования виброщёковых дробилок в технологическом процессе разделки слитков ферросплавов / Е.В. Федоскина // «Вібрації в техніці та технологіях» XVI Міжнародна наук.-техн. конф. Збірник тез доповідей. Вінниця. 26-27 жовтня 2017, - С. 53 - 54.

**Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві:**

[2, 3, 5, 6, 7] - розробка математичних моделей подрібнювача, систематизація та аналіз отриманих результатів; [11-17] - патентний пошук, ідея та розробка конструктивних рішень; [22] - визначення характерних ознак, що впливають на час перебування матеріалу в камері дроблення; [4, 10, 20, 25] - обґрунту-

вання конструктивних параметрів подрібнювача, що впливають на ефективність дроблення.

## АНОТАЦІЯ

Федоскіна О.В. Динаміка віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – «Динаміка та міцність машин».- НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, 2018.

Виходячи з аналізу патентної і технічної літератури визначена базова конструктивна схема віброударного подрібнювача, здатного забезпечити створення необхідного силового поля для дезінтеграції матеріалу.

Розроблено математичну модель подрібнювача, встановлено вплив конструктивних і динамічних параметрів подрібнювача на рух його елементів, визначені способи управління динамічним силовим впливом на матеріал.

Виявлено особливості дезінтеграції матеріалу, які властиві віброударному подрібнювачу з похилою робочою камерою, визначені характеристики руху матеріалу як складові системи управління його силовим навантаженням.

Достовірність теоретичних досліджень перевірена експериментально на створеному лабораторному зразку віброударного подрібнювача. Відносна похибка порівнюваних результатів не перевищує 15%.

Розроблено інженерну методику розрахунку віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою.

Ключові слова: подрібнювач, вібрація, амплітуда, математична модель, способи управління, силове поле, рух матеріалу, затискання, процеси.

## АННОТАЦИЯ

Федоскина Е.В. Динамика виброударного измельчителя с наклонной рабочей камерой. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.09 «Динамика и прочность машин». – Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, 2018.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача, состоящая в обосновании способов создания рационального силового поля для дезинтеграции материала и разработке методов расчёта виброударного измельчителя с наклонной рабочей камерой.

Исходя из анализа научно-технической и патентной литературы определена базовая конструктивная схема виброударного измельчителя, в котором возможно управление скоростью движения материала и величиной его силового нагружения в широких пределах.

Разработана математическая модель измельчителя, описывающая движение его элементов в режиме холостого хода и устанавливающая взаимосвязь между динамическими и конструктивными параметрами, дана оценка их влияния на поведение элементов системы

На основании разработанной математической модели обоснованы пять характерных режимов движения материала с учётом его зажатия в наклонной рабочей камере, определяющиеся коэффициентом режима работы который обратно пропорциональный амплитуде, квадрату частоты колебаний пассивной щеки, направлению возмущающей силы вибровозбудителя, прямо пропорционален ускорению свободного падения и углу наклона транспортирующей поверхности.

Установлены особенности процесса разрушения и движения материала в наклонной рабочей камере при высокочастотном ударном нагружении, характеризующиеся формированием потока материала в виде двух слоёв: нижний - готовая фракция (демпфирующий слой) и верхний – закрупнённая фракция, требующая дальнейшего дробления, а также возможным разрывом потока и появлением незаполненных материалом участков рабочей камеры. Повышение эффективности дезинтеграции материала может быть достигнуто посредством удаления демпфирующего слоя из рабочей камеры, по мере его образования, на всём пути транспортирования материала.

На основании анализа полученных осциллограмм, описывающих взаимодействие щёк измельчителя с материалом, установлены особенности зажатия материала, присущие вибрационному измельчителю с наклонной рабочей камерой, при которых имеет место наличие инерционной силы в направлении его выталкивания и знакопеременной силы в зоне контакта, на основании чего разработана математическая модель и получены зависимости для определения угла захвата материала с учетом динамических процессов в зоне контакта.

Приведены результаты экспериментальных исследований, позволившие получить качественную и количественную картину динамических характеристик при пуске и останове измельчителя.

Получена качественная картина взаимодействия недробимого тела с активной щекой, которая показывает в завершающей стадии процесса изменение формы колебаний подвижной щеки, увеличение времени зажатия, уменьшение величины размаха до нулевого значения и прекращение процесса дробления.

Достоверность теоретических исследований проверена экспериментально. Относительная погрешность сравниваемых результатов не превышает 15%.

В работе изложена инженерная методика расчёта и выбора параметров виброударного измельчителя с наклонной рабочей камерой. Представлены разработанные конструктивные схемы, обеспечивающие реализацию различных режимов дозированного силового воздействия на материал со стороны активной щеки.

Ключевые слова: измельчитель, вибрация, амплитуда, частота, способы управления, силовое поле, зажатие материала, режимы движения, процессы.

### ABSTRACT

Fedoskina, O.V. Dynamics of a vibratory percussion crusher with an inclined working chamber. – As a manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences (PhD) in specialty 05.02.09 “Dynamics and strength of machines”, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, 2018.

Relying upon the analysis of patent and technical literature, basic design scheme of a crusher has been adopted; the scheme makes it possible to develop the required force field for material disintegration.

Mathematical model of a crusher has been developed; effect of both design and dynamic parameters of a crusher upon the movement of its components has been determined; ways to control dynamic power effect on the material has been defined.

Peculiarities of the material disintegration characteristic for a vibratory percussion crusher with an inclined working chamber have been found out; specific features of the material movement as the constituent part of the system to control its power load have been determined.

Validity of theoretical studies has been tested experimentally according to the developed laboratory sample of a crusher. Relative error of the results under comparison is not more than 15%.

Engineering methodology to design a vibratory percussion crusher with an inclined working chamber has been developed.

Keywords: crusher, vibration, amplitude, mathematical model, ways of control, force field, material movement, nipping, processes.

Федоскіна Олена Валеріївна

ДИНАМІКА ВІБРОУДАРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА  
З ПОХИЛОЮ РОБОЧОЮ КАМЕРОЮ

(Автореферат)

Підписано до друку 20.08.18 р. Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. Печ. Л. 1,0.  
Уч.-изд.л 1,0. Наклад 100 прим. Зак. №659

Віддруковано в «Поліграфцентрі» ФОП Кучугурний Ю.М.  
Свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863  
м. Дніпро, вул. Воскресенська, 11, 49000,  
тел. (096) 423-60-71