

УДК 622.27:621.926.9(339.138)

Д.П. БОЖИК,

М.І. СОКУР, д-р техн. наук

(Україна, Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського),

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук,

(Україна, Харків, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут")

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДЦЕНТРОВО-УДАРНОЇ ДРОБАРКИ

Постановка проблеми. Процеси дроблення і подрібнення широко застосовуються у будівельному виробництві. Так необхідні у будівництві щебінь і пісок виробляються шляхом дроблення до певної крупності природного будівельного каменю – граніту і пісчанику.

Для виробництва будівельних матеріалів застосовують різні типи дробильного і помольного обладнання, яке виробляється як на вітчизняних так і зарубіжних машинобудівних підприємствах. Високі темпи розвитку будівельного і дорожнього машинобудування та інших сумісних галузей промисловості вимагають удосконалення конструкції обладнання та підвищення його надійності і ефективності.

Крім цього, дуже гостро стоїть проблема зниження собівартості продукції, підвищення її якості і рентабельності виробництва. Ця проблема може бути вирішена шляхом впровадження нової техніки та інноваційних технологій виробництва будівельних матеріалів.

При проектуванні і виробництві обладнання для дезінтеграції твердих матеріалів необхідно враховувати і застосовувати отримані досягнення в науці і техніці і переходити на виробництво нового покоління дезінтеграторів, найбільш перспективним з яких є дезінтегратори відцентрового типу, які реалізують принцип руйнування твердих матеріалів вільним ударом в полі відцентрових сил. Застосування цього обладнання дозволяє реалізувати селективне руйнування твердих мінеральних ресурсів (наприклад руд чорних і кольорових металів), завдячуючи чому більш ефективно вилучається корисний компонент і підвищується якість кінцевого продукту – концентраті.

При застосуванні відцентрових дезінтеграторів для виробництва будівельних матеріалів (щебеню) із природного будівельного каменю також підвищується якість кінцевого продукту завдяки отриманню зерен кубовидної форми, що дозволяє виробляти бетонні суміші високої якості і міцності.

Тому широке застосування у будівельній галузі дезінтеграторів відцентрового типу та розробка інноваційних конструкцій цих апаратів є надзвичайно актуальною і науковою, технічною і науково-господарською проблемою [1].

Процеси дроблення і подрібнення належать до основних операцій рудопідготовки, без яких збагачення корисних копалин неможливе [1]. Удосконалення

технології і обладнання для дезінтеграції руд є надзвичайно актуальною науково-технічною проблемою [2].

Дослідження і публікації з проблеми. Теоретичні і експериментальні пошукові роботи по створенню ефективної технології і обладнання подрібнення руд сьогодні здійснюється в різних напрямках.

По-перше, ведеться пошук адекватних математичних описів процесу руйнування руд. У роботі [3] досліджено співвідношення між енергією подрібнення і розміром одержуваного продукту для магнетитових руд. Встановлено, що рівняння Ріттінгера задовольняє експериментальним даним. Водночас, рівняння Бонда не відповідає експериментальним даним і потребує модифікування. Авторами [4] виявлена невідповідність між експериментально встановленою і розрахованою за рівнянням Бонда енергією при руйнуванні руди в щоківій дробарці. Це пояснюється вузькими умовами застосування рівнянь Ріттінгера, Кіка-Кірпічова і Бонда.

По-друге, триває пошук шляхів оптимізації ефективності дробарок з точки зору зниження споживання енергії та збільшення продуктивності. В роботі [5] виконані лабораторні дослідження залежності між швидкістю деформації, енергією удару, ступенем фрагментації (подрібнення) і енергетичною ефективністю фрагментації. Але ці результати потребують ретельної "прив'язки" до реальних промислових умов різних видів подрібнювального обладнання, після чого більш конкретно виокресляться проблеми і перспективи їх використання в циклах подрібнення руд.

По-третє, в практиці дроблення і подрібнення з метою підвищення ефективності і зменшення енергоємності цих процесів застосовуються фізико-хімічні впливи на саму гірську породу з метою її розміцнення. При цьому використовуються відомий ефект Ребіндера [6], який проявляється в зниженні міцності і підвищенні крихкості, пластичності твердих тіл, що полегшує їх руйнування, диспергування. Ефект Ребіндера обумовлюють адсорбція ПАР, змочування, електричний заряд поверхні, хімічні реакції. Разом з тим, область застосування ефекту Ребіндера обмежена так званим "мокрим подрібненням" у водному середовищі. При "сухому" дробленні і подрібненні (без зволоження вихідного матеріалу) ефект Ребіндера не діє.

У роботі [7] досліджувалося дроблення будівельних матеріалів. Експериментально показано, що дробимість граніту суттєво менша, ніж у залізної руди. Використовуючи цю відмінність можна будувати схеми вибіркового подрібнення, відбирати контрольним просіюванням на грохотах більш крупні зерна граніту від більш дрібних залізозмісних класів крупності, направляти надрешітний граніт у відвал, а підрешітну залізну руду на наступну стадію подрібнення і в цей спосіб зменшувати загальну енергоємність процесу дроблення.

Треба звернути увагу на ту обставину, що існує багато методик оцінки подрібнюваності (розмолоздатності) матеріалу [8, 9]. Тому часто дані різних авторів, які застосовують різні методи, не порівнювані взагалі, або можуть бути використані не для кількісного а тільки для якісного аналізу.

Підготовчі процеси збагачення

У роботі [10] експериментально підтверджено високу ефективність руйнування мінералів у відцентрованих дезінтеграторах, що обумовлює доцільність поглибленого дослідження механізму руйнування матеріалу в цих апаратах. Було висунуте припущення, що для зниження енерговитрат у процесах дроблення і подрібнення руд перспективним є перерозподіл трудомісткості й енерговитрат між циклами дроблення і подрібнення в напрямку збільшення питомої ваги циклів дроблення в загальному процесі дезінтеграції руд. Реалізація цієї ідеї можлива шляхом зниження крупності дробленого продукту з 25-30 мм до 10-0 мм, тому що кожен міліметр зниження номінальної крупності циклів дроблення дозволяє на 1,0-1,5% знизити енергоємність і на стільки ж підвищити продуктивність циклів подрібнення [11]. Таку крупність дробленого продукту можна отримати в апаратах нового покоління, найбільш перспективними з яких є дробарки інерційного типу (КІД) і дезінтегратори відцентрового типу (ЦД), що реалізують принципи руйнування матеріалу вільним ударом у полі відцентрових сил [2, 10].

Недостатня вивченість процесу дезінтеграції твердих матеріалів в дезінтеграторах відцентрового типу стримує їх впровадження у промисловість і обумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямку. Зокрема, науковий і практичний інтерес представляють залежності параметрів гранулометричного складу від режиму роботи дезінтегратора, залежність технологічних показників збагачення від способу дроблення, а також залежність енергетичних параметрів від режиму роботи дезінтегратора.

Мета цієї статті – дослідження дроблення будівельних матеріалів із застосуванням відцентрово-ударної дробарки.

Пристрої та матеріали, умови досліджень. При дослідженнях застосовувалася відцентрово-ударна дробарка ЦД-50. Це відцентровий дезінтегратор продуктивністю 50-100 т/год. (ЦД-50) застосовуваний в стадіях дрібного дроблення магнетитових руд і іншої мінеральної сировини. У його конструкції реалізований принцип демпфуючих елементів і упродовжений ротор напівзакритого типу з швидкозмінними самофутеруючими розгінними ребрами криволінійної форми (а.с. 1673212, а.с. 1683193). Окрім цього застосований гідропривод розгінного ротора, що дозволило проводити плавне регулювання частоти обертання ротора в широкому діапазоні (100-1000 хв⁻¹).

Крупність вихідної сировини – граніту 100-0 мм, діаметр вильоту розгінних ребер 2200 мм, частота обертання ротора до 1000 хв⁻¹, швидкість вильоту матеріалу до 135 м/с, потужність привода 125 кВт, маса 15 т. [2]. Дезінтегратор виготовлений на механічному заводі інституту Механобрчермет.

Виклад основного матеріалу. Нами проведені дослідження по дробленню граніту на відцентровому дезінтеграторі. Розглянемо їх умови та результати за етапами досліджень.

Етап 1. Дослідження виходів класів крупності -40+20 мм, -20+10 мм та -10+5 мм від швидкісного режиму роботи дробарки

Спершу були приведені експериментальні дослідження в напівпромислових умовах залежності виходу класів крупності -20+10 мм та -40+20 мм від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності по вихідному продукту 30 т на годину.

Крупність вихідного продукту при цьому була в межах мінус 100 мм міцність по шкалі Протодяконова не перевищувала 16-20 одиниць. Частота обертів розгінного ротора дробарки змінювалась в межах від 1200 об/хв. до 200 об/хв., що забезпечувало швидкість вильоту матеріалу з розгінного ротора 135-25 м/с.

Встановлено, що вихід класів -20+10 мм та -40+20 мм збільшується із зменшенням частоти обертів розгінного ротора відцентрової дробарки, а відповідно і швидкості вильоту матеріалу з ротора (рис. 1 і 2). Із аналізу графіків можна зробити висновок, що при продуктивності відцентрової дробарки 30 т/год максимальний вихід 20-25% фракції крупності -20+10 мм та -40+20 мм, характерних для щебеню, досягається при частоті обертів ротора 200 об/хв.

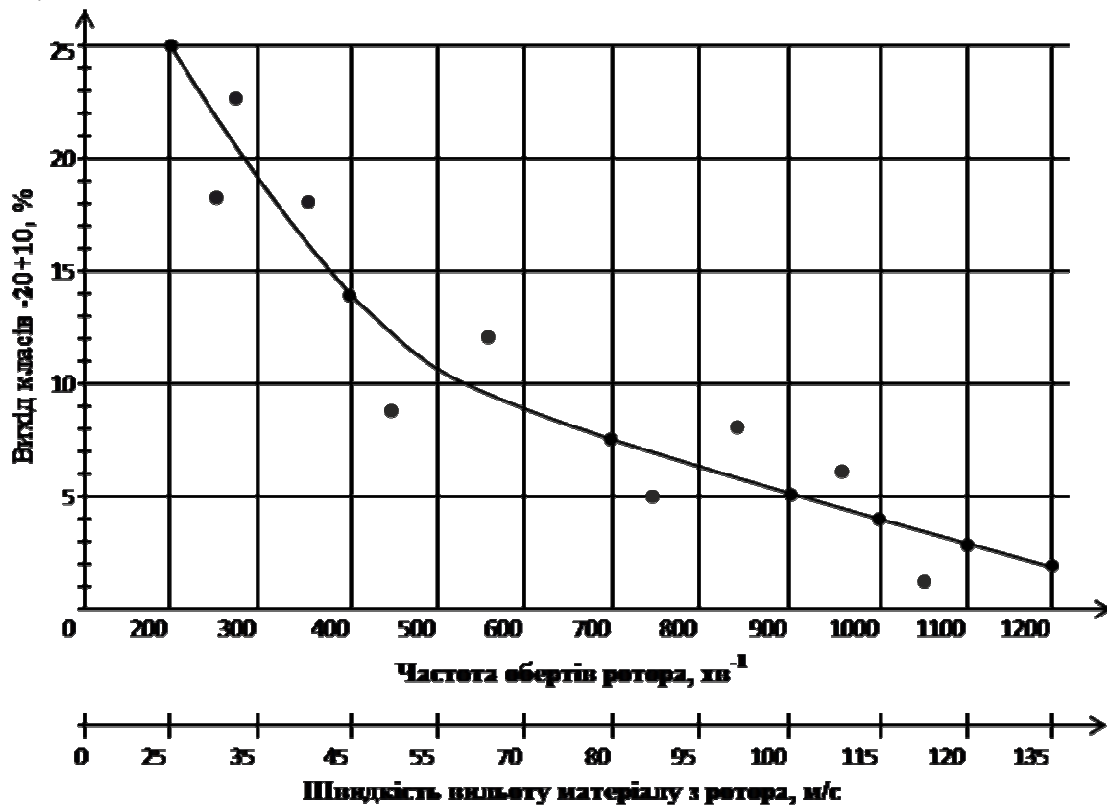


Рис. 1. Залежність виходу класів щебеню крупністю -20+10 мм від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 30 т/год

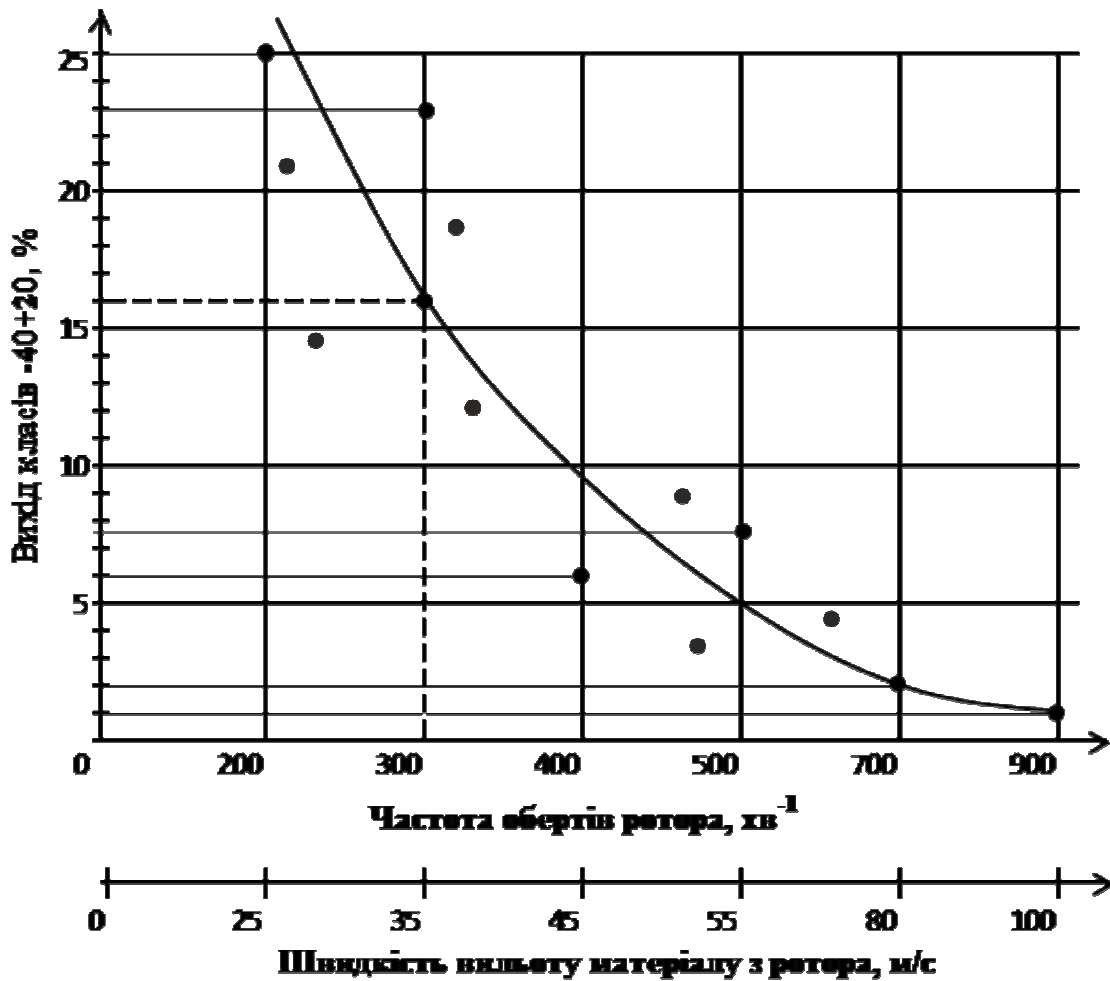


Рис. 2. Залежність виходу класу крупності -40,0+20,0 мм від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 30 т/год

Така продуктивність по вихідній сировині і досягнутий вихід товарних класів не задовольняє вимоги виробників щебеню.

Надалі експерименти проведені при продуктивності відцентрової дробарки по вхідному матеріалу 75-85 т/год і зміні частоти обертів розгінного ротора дробарки в межах від 1200 об/хв. до 400 об/хв

Результати досліджень виходу класів -20+10 мм в залежності від швидкісного режиму відцентрової дробарки наведені на графіку рис. 3

Встановлено, що зі зменшенням частоти обертів розгінного ротора з 1200 об/хв. до 400 об/хв. вихід класу -20+10 мм збільшується з 5 до 30%. Таким чином найбільш ефективним режимом роботи дробарки по виходу готового класу -20+10 мм є швидкий режим 400 об/хв., що відповідає швидкості вильоту матеріалу з ротора 45 м/с

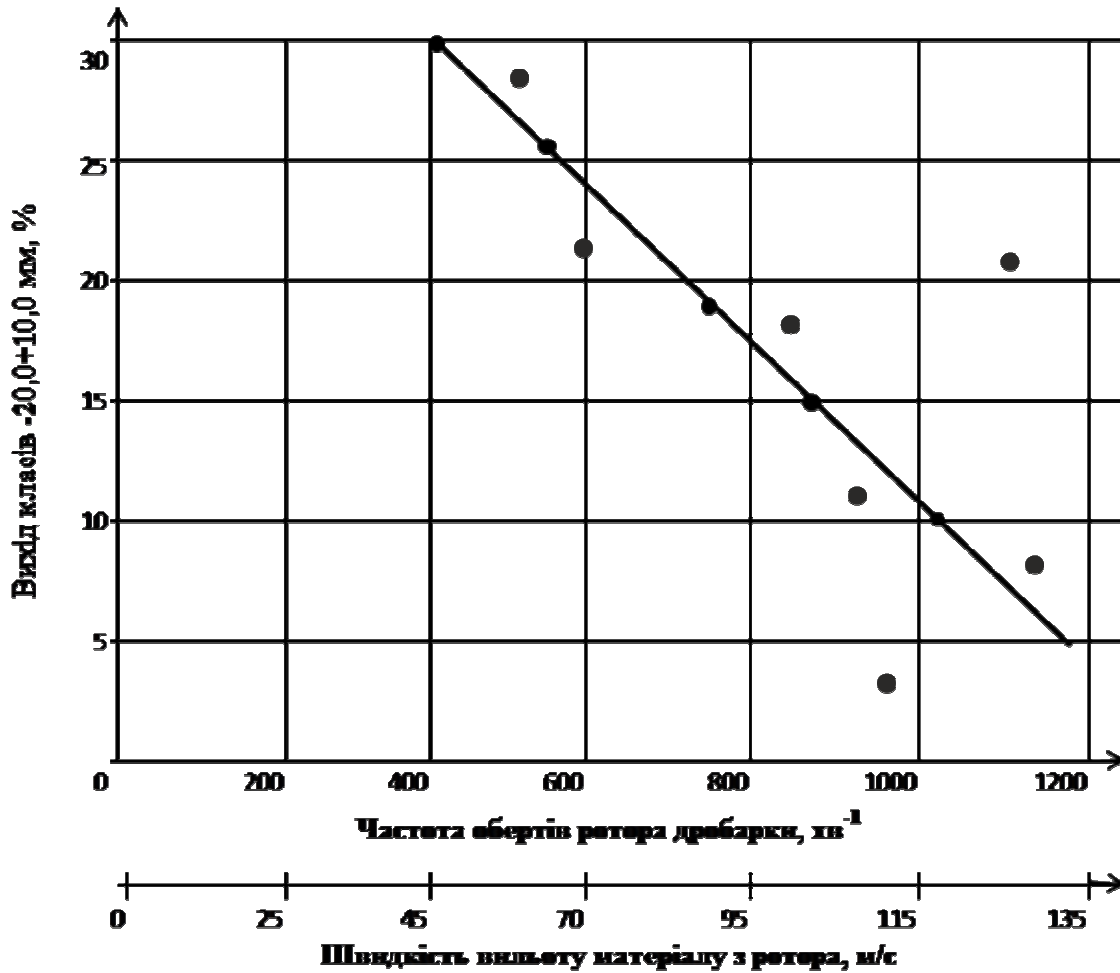


Рис. 3. Залежність виходу класів крупності мінус 20,0 + 10,0 мм від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 75-85 т/год 200 об/хв., а відповідно і швидкості вильоту матеріалу з ротора дробарки 135-25 м/с

Визначено також вміст кубовидних зерен щебеню в класі -20+10 мм при різних швидкісних режимах роботи відцентрової дробарки. Результати досліджень наведені на графіку рис. 4.

Як видно із встановленої залежності максимальний вміст кубовидних зерен у фракції -20+10 мм знаходиться на рівні 94-95% і досягається при частоті обертів розгінного ротора відцентрової дробарки 600-650 об/хв., тобто при швидкості вильоту матеріалу з ротора 70-80 м/с.

При цьому, як видно з попереднього графіка (рис. 3) вихід фракції -20+10 мм при таких обертах складає 25%.

Таким чином при виробництві високоякісного щебеню крупністю -20+10 мм доцільним режимом роботи відцентрово-ударної дробарки є швидкісний режим 600-650 об/хв., або 70-80 м/с.

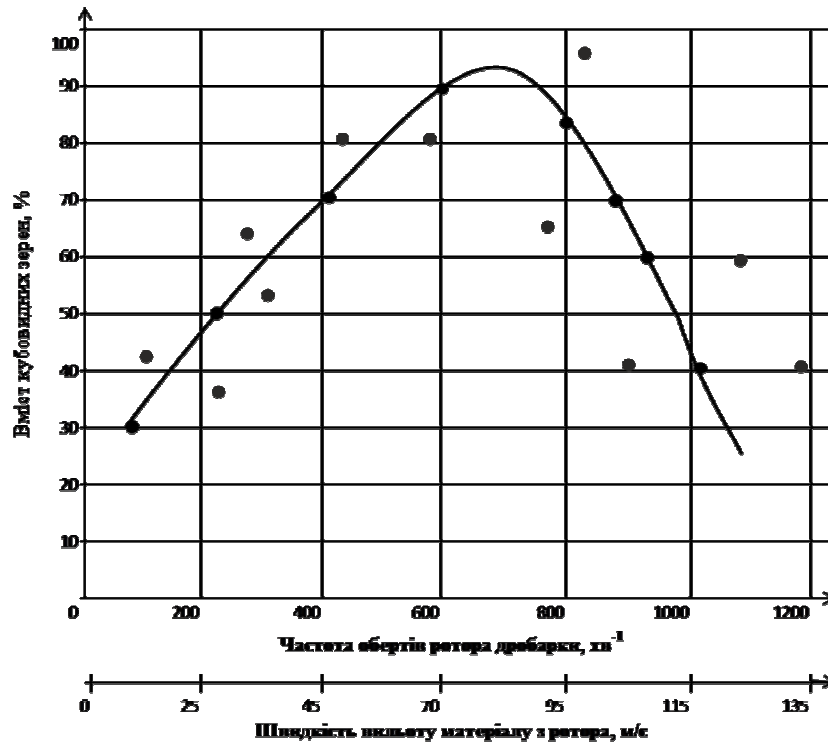


Рис. 4. Вміст кубовидних зерен щебеню в класі крупності -20+10 мм в залежності від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 75-85 т/год

Проведено також дослідження виходу фракцій щебеню крупністю -50+20 мм в залежності від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки. Результати досліджень приведені на графіку (рис. 5).

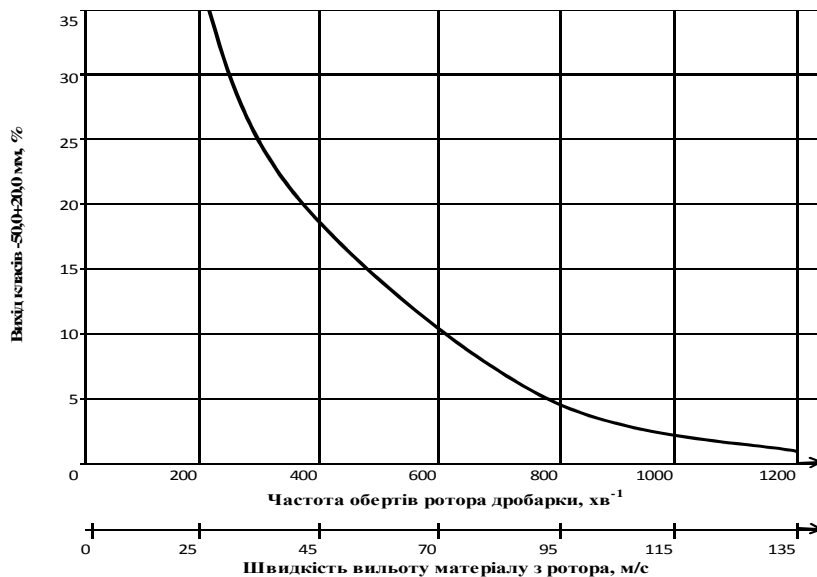


Рис. 5. Залежність виходу класів крупності -50+20 мм від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 75-85 т/год

Як видно з аналізу встановленої залежності при зменшенні частоти обертів ротора дробарки від 800 до 200 об/хв. вихід фракцій класу крупності -50+20 мм збільшується з 5 до 35%. Тому для отримання максимального виходу класу -50+20 мм швидкісний режим роботи відцентрової дробарки необхідно тримати в межах 200-250 об/хв., що відповідає швидкості вильоту матеріалу з ротора 25-30 м/с.

Етап 2. Дослідження вмісту кубовидних зерен в різних класах крупності в залежності від режиму роботи відцентрової дробарки

Проведено також дослідження вмісту кубовидних зерен граніту у фракції -50+20 мм при таких же швидкісних режимах роботи відцентрової дробарки. Результати досліджень приведені на графіку рис. 6.

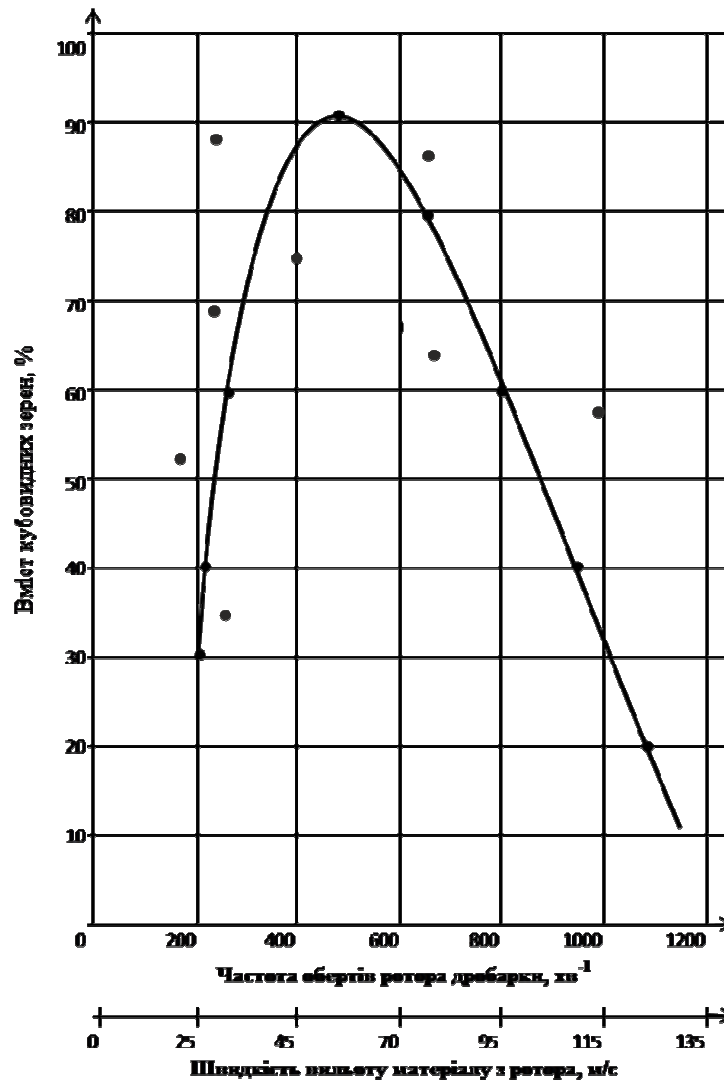


Рис. 6. Вміст кубовидних зерен щебеню в класі крупності -50+20 мм в залежності від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 75-85 т/год

Підготовчі процеси збагачення

Як видно із аналізу отриманої залежності максимальний вміст кубовидних зерен у фракції -50+20 мм – 90% досягається при частотах обертів ротора відцентрової дробарки в межах 400-500 об/хв., тобто швидкості вильоту матеріалу з ротора 45-50 м/с. Вихід фракції -50+20 мм при такому швидкісному режимі складає біля 20% (рис. 5).

Таким чином встановлено, що для виготовлення високоякісного щебеню крупністю -50+20 мм науково-обґрунтованим режимом роботи відцентрової дробарки є швидкісний режим 400-500 об/хв., що забезпечує швидкість вильоту дробимого матеріалу із розгінного ротора 45-50 м/с.

Так як відцентрово-ударна дробарка при вихідній крупності -100 мм дозволяє отримувати крупність дробимого матеріалу -10-5 мм (при відповідному швидкісному режимі роботи) то інтерес являє дослідження вмісту кубовидних зерен в такому класі крупності.

Тому були приведені дослідження вмісту кубовидних зерен в класі крупності -10+5 мм. Результати досліджень приведені на графіках (рис. 7). Як видно з аналізу встановлених залежностей максимальний вихід кубовидних зерен в класі -10,0 мм, а саме 94-95% досягається при швидкісному режимі роботи дробарки з обертами розгінного ротора в межах 600-700 об/хв., тобто при швидкості вильоту матеріалу із розгінного ротора 70-80 м/с.

Таким чином встановлено, що швидкісний режим роботи дробарки в межах 600-700 об/хв. (тобто при розгоні матеріалу до 70-80 м/с) є найбільш ефективним для отримання максимального вмісту кубовидних зерен в продуктах дроблення крупністю -10,0 мм.

Якщо порівняти результати цих досліджень з дослідженнями по вмісту кубовидних зерен в класах крупності -20+10 мм (графік на рис. 7), то можна зробити висновок, що такий швидкісний режим є найбільш ефективним і для класу крупності -20+10 мм.

Таким чином встановлено, що швидкісний режим роботи відцентрової дробарки 600-700 об/хв. (тобто швидкість вильоту матеріалу із розгінного ротора 70-80 м/с) забезпечує максимальний вихід кубовидних зерен у фракціях крупності -20, +10, -10 мм.

Дослідженнями також встановлено, що максимальний вміст кубовидних зерен (84%) у фракції крупністю -5 мм досягається при швидкісному режимі роботи відцентрової дробарки 800-850 об/хв., тобто при швидкості вильоту дробимого матеріалу із розгінного ротора 95-100 м/с, що наглядно підтверджується графіком 2 на рис. 7.

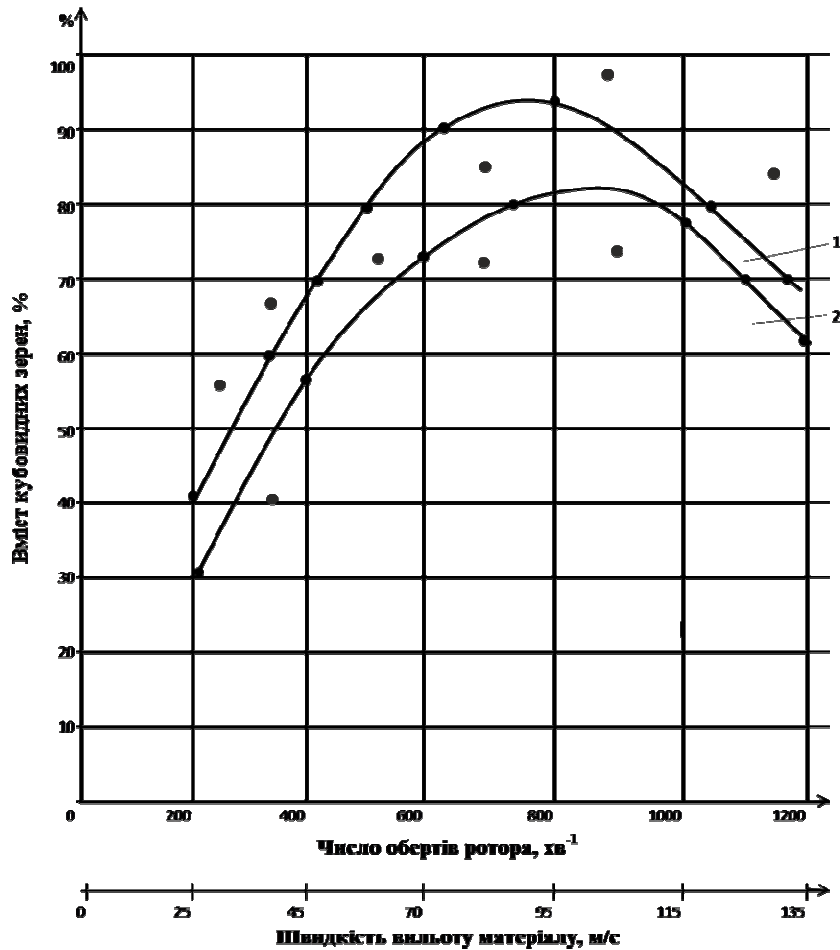


Рис. 7. Залежність вмісту кубовидних зерен в класі крупності -10 мм (1) і -5 мм (2) від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки

Для перевірки приведених вище результатів досліджень додатково було проведено комплексні експериментальні дослідження з одночасним відбором проб дробленого матеріалу і паралельним аналізом виходу класів крупності -20+10 мм і вмістом в цих класах кубовидних зерен. Результати цих досліджень приведені на графіках 1 і 2 рисунка 8.

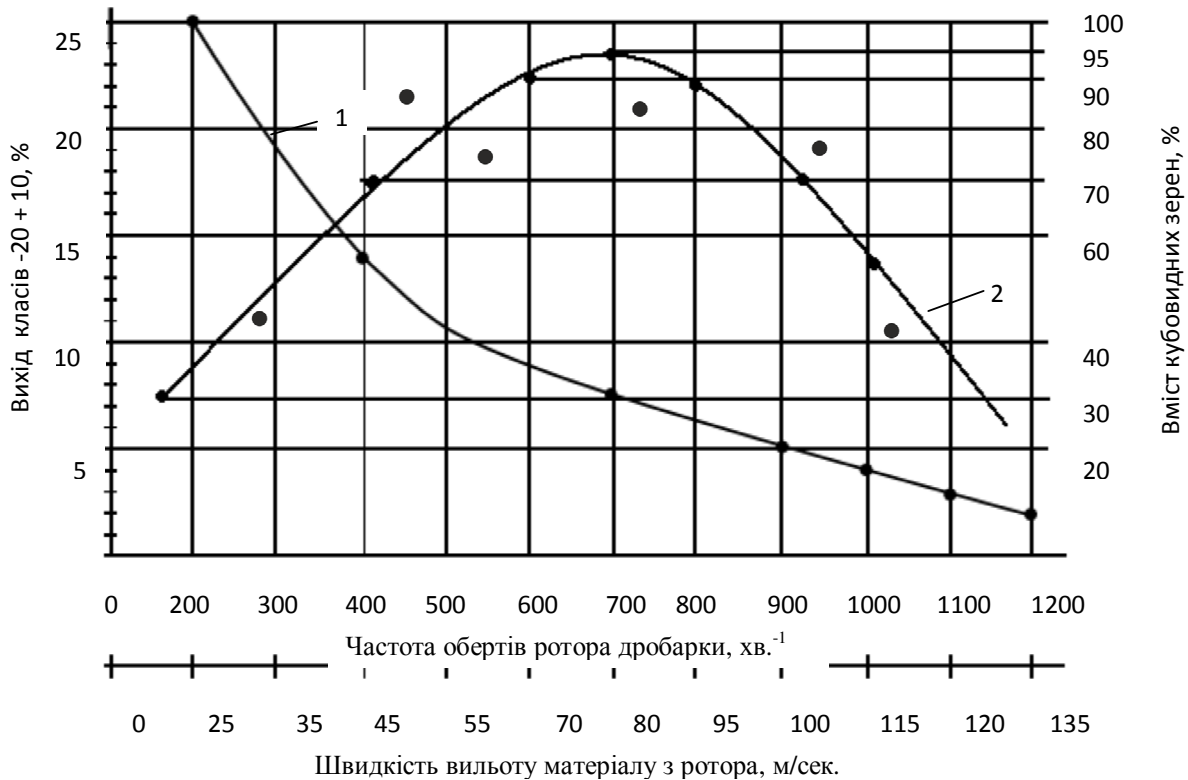


Рис. 8. Залежність виходу класів щебеню крупністю -20+10 мм і виходу кубовидних зерен від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки:
 1 – Вихід класів щебеню -20+10 мм, %;
 2 – Вміст кубовидних зерен, %

Як видно із встановлених залежностей максимальний вміст кубовидних зерен в класі крупності -20+10 мм 95 % досягається при частоті обертів ротора дробарки 650-700 хв.⁻¹, що відповідає швидкості вильоту матеріалу з ротора 75-80 м/сек. При цьому вихід даного класу крупності досягнуто 23%. Таким чином, встановлений швидкісний режим відцентрової дробарки є оптимальним для даного класу крупності.

Аналогічні комплексні дослідження були проведені і при виробництві характерного для щебеню класу крупності -50+20 мм. Результати цих досліджень приведено на графіках 1 і 2 рисунка 9.

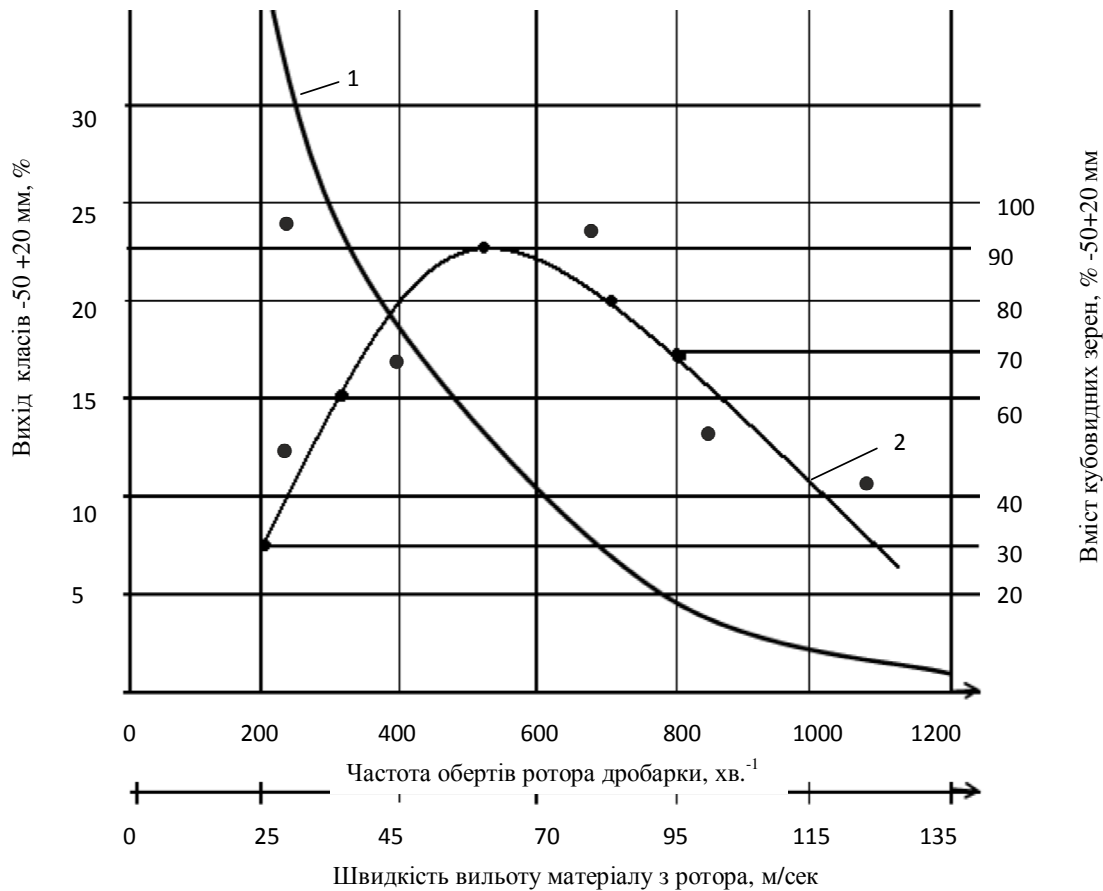


Рис. 9. Залежність виходу класів крупності -50+20 мм і виходу кубовидних зерен від швидкісного режиму роботи відцентрової дробарки при продуктивності 75-85 т/год:
 1 – Вихід класів -50+20 мм, %;
 2 – Вміст кубовидних зерен, %

Встановлено, що максимальний вміст кубовидних зерен – 90%, досягається при швидкісному режимі роботи відцентрової дробарки при частотах обертів ротора 500-600 хв⁻¹, що відповідає швидкості вильоту дробу мого матеріалу 60-70 м/сек. При цьому вихід даного класу крупності складає 22-23%.

Таким чином даний швидкісний режим роботи відцентрової дробарки є оптимальним для класів крупності щебеню -50+20 мм.

Як видно із встановлених залежностей максимальний вміст кубовидних зерен в класі крупності -20+10 мм 95% досягається при частоті обертів ротора дробарки 650-700 хв⁻¹, що відповідає швидкості вильоту матеріалу з ротора 75-80 м/сек. При цьому вихід даного класу крупності досягнуто 23%. Таким чином, встановлений швидкісний режим відцентрової дробарки є оптимальним для даного класу крупності.

Аналогічні комплексні дослідження були проведені і при виробництві характерного для щебеню класу крупності -50+20 мм. Результати цих досліджень приведено на графіках 1 і 2 рисунка 9.

Підготовчі процеси збагачення

Етап 3. Дослідження виходу кубовидних зерен при дробленні в конусній дробарці

Для порівняльної характеристики якості і конкурентоспроможності щебеню виробленого у конусній дробарці і відцентрово-ударній дробарці проведено дослідження вмісту кубовидних зерен у продуктах дроблення конусної дробарки фракцій -10 мм та -20 мм. Результати досліджень приведені на діаграмах рис. 19 та рис. 11.

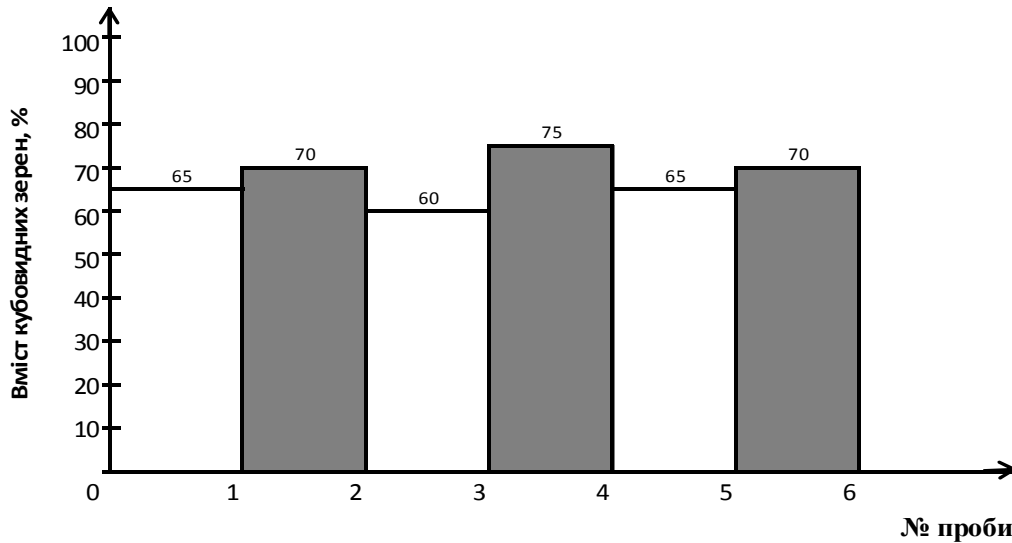


Рис. 10. Вміст кубовидних зерен в продукті дроблення -10 мм конусної дробарки

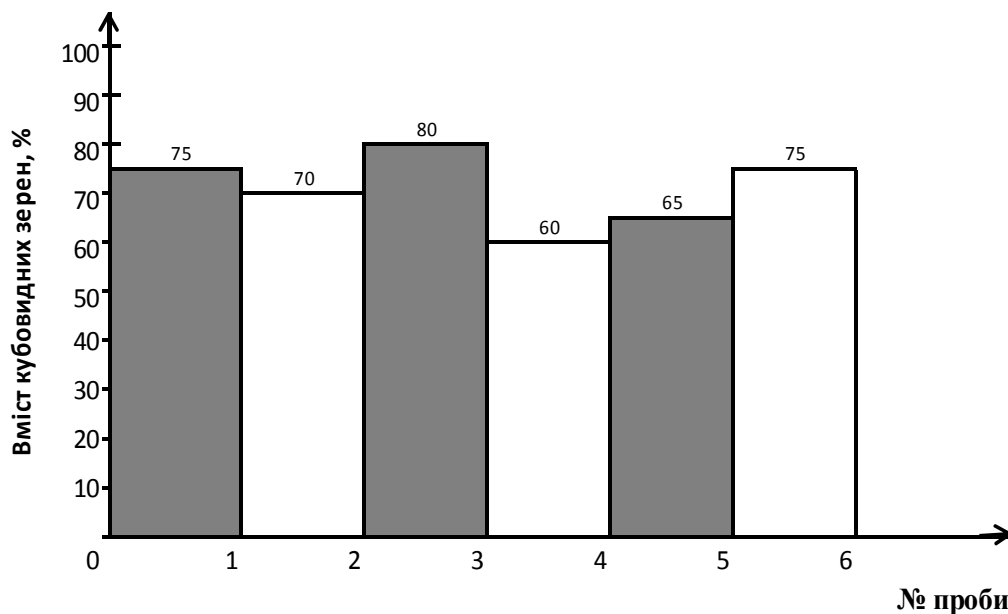


Рис. 11. Вміст кубовидних зерен в продукті дроблення -20 мм конусної дробарки

Із аналізу діаграм видно, що в продуктах дроблення конусної дробарки крупністю -10 мм вміст кубовидних зерен знаходиться в межах 60-70% в середньому 65%.

В продуктах дроблення конусної дробарки крупністю -20 мм вміст кубовидних зерен знаходиться в межах 65-80%, в середньому 70%.

Таким чином в продуктах дроблення конусної дробарки у фракції -10 мм вміст кубовидних зерен на 20% менше, чим в продуктах дроблення відцентрово-ударної дробарки, а в продуктах дроблення фракції -20 мм кубовидних зерен на 25% менше, чим в аналогічних продуктах відцентрово-ударної дробарки.

Виходячи із результатів проведених досліджень, застосування відцентрово-ударних дробарок для виробництва щебеню дозволяє отримати високоякісний щебінь із вмістом кубовидних зерен 90-95%, що в середньому на 20-25% більше, чим в дробарках конусного типу.

Таким чином, дробарки відцентрово-ударного типу рекомендуються до широкого застосування для виробництва високоякісного щебеню зі значним (до 90-95%) вмістом кубовидних зерен.

Застосування такого щебеню для приготування бетонних сумішей дозволяє отримати високоякісний бетон підвищеної міцності, що особливо важливо при будівництві злітно-посадкових смуг аеропортів і інших відповідальних будівельних об'єктів, де необхідні підвищені вимоги до міцності будівельних конструкцій.

Висновки

1. Експериментальними дослідженнями по дробленню граніту у відцентрово-ударній дробарці встановлено, що оптимальним режимом роботи при виробництві щебеню крупністю -20+10 мм є швидкісний режим 600-700 об/хв., тобто 70-80 м/с, при якому вихід даної фракції складає 25%, а вміст кубовидних зерен знаходиться в межах 94-95%.

2. Дослідженнями встановлено, що при швидкісному режимі роботи дробарки 400-500 об/хв (тобто 45-50 м/с) вихід фракції -50+20 мм складає 20%, при цьому вміст кубовидних зерен даної фракції знаходиться в межах 88-90%, таким чином даний швидкісний режим є оптимальним при виробництві щебеню крупністю -50+20 мм.

3. Встановлено, що при виробництві щебеню крупністю -10+5 мм оптимальний швидкісний режим дробарки є 600-700 об/хв. (70-80 м/с) при цьому досягається вихід кубовидних зерен в межах 94-95%.

4. Порівняльними дослідженнями конусної дробарки встановлено, що вміст кубовидних зерен в продуктах дроблення крупністю -10 мм складає 65%, що на 20% менше, чим в таких же продуктах дроблення відцентрово-ударної дробарки.

5. В продуктах дроблення конусної дробарки крупністю -20 мм вміст кубовидних зерен складає 70%, що на 25% менше, ніж в продуктах дроблення відцентрово-ударної дробарки.

Підготовчі процеси збагачення

6. Дослідженнями встановлено, що застосування відцентрово-ударних дробарок для виробництва щебеню дозволяє отримати високоякісний щебінь із вмістом кубовидних зерен 90-95%, що в середньому на 20-25% більше, ніж в дробарках конусного типу.

7. Таким чином, дробарки відцентрово-ударного типу рекомендуються до широкого застосування для виробництва високоякісного щебеню із вмістом кубовидних зерен 90-95%.

Список літератури

1. N. Sokur, V. Biletsky, L. Sokur, D. Bozyk, I. Sokur. Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3/7 (81) 2016. P. 34-40.

2. Сокур, Н. И. Дробление и измельчение руд [Текст] / Н. И. Сокур, В. Н. Потураев, Е. К. Бабец. – Кривой Рог : ВЭЖА, 2000. – 290 с.

3. Jankovic, A. Relationships between comminution energy and product size for a magnetite ore [Електронний ресурс] / A. Jankovic, H. Dundar, R. Mehta // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – March 2010. – Vol. 110. – Pp. 141-146. – Режим доступу : URL: <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v110n3/07.pdf>.

4. Refahi, A. Comparison between bond crushing energy and fracture energy of rocks in a jaw crusher using numerical simulation [Електронний ресурс] / A. Refahi, J. Aghazadeh Mohandesi, B. Rezai // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Dec. 2009. – Vol. 109. – Pp. 709–717. – Режим доступу : URL: <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v109n12/03.pdf>.

5. Whittles, D. Laboratory and numerical investigation into the characteristics of rock fragmentation [Text] / D. Whittles, S. Kingman, I. Lowndes, K. Jackson // Minerals Engineering. – 2006. – Vol. 19. – Pp. 1418-1429.

6. Евсеев, В. Д. Природа эффекта Ребиндера при разрушении горных пород [Текст] / В. Д. Евсеев // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 11. – С. 38-40.

7. S. Akande, B. Adebayo, J. M. Akande. Comparative Analysis of Grindability of Iron ore and Granite // Journal of Mining World Express. Volume 2. Issue 3, July 2013. p.55-62.

8. McKen, A. & Chiasson, G. (2006). Small-scale continuous SAG testing using the MacPherson autogenous grindability test. In M.J. Allan, K. Major, B.C. Flintoff, B. Klein, & A.L. Mular (Eds.), Proceedings international autogenous and semiautogenous grinding technology, 2006, Vol. 4, (pp. 299-314), Vancouver, BC: Department of Mining Engineering, University of British Columbia.

9. F.O. Verret, G. Chiasson, D. A. Mcken. Sag Mill Testing – an overview of the test procedures available to characterize ore grindability. // SGS Minerals Services. 2011. 10 p.

10. Сокур, М. І. Інноваційна технологія дроблення магнетитових кварцитів в полі відцентрових сил та її вплив на ефективність рудопідготовки [Текст] / М. І. Сокур, І. М. Сокур // Вісник НТУ ХПІ. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2013. – № 57. – С. 115-120.

11. Егурнов, А. И. Повышение эффективности процессов измельчения и классификации на обогатительной фабрике ИнГОКа [Текст] / А. И. Егурнов, В. П. Равишин // Теория и практика процессов обогащения, разделения и смешения : Труды VI международной конф. – Одесса, 1998. – С. 45-48.

© Божик Д.П., Сокур М.И., Белецкий В.С., 2017

Надійшла до редколегії 27.04.2017 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим