

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Бачинський Микола Олександрович

УДК 622

УДОСКОНАЛЕННЯ МАЛОВІДХОДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ
ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 184 «Гірництво»

Автореферат
магістерської дисертації професійного спрямування
на здобуття наукового ступеня магістра

Київ-2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України на кафедрі геоінженерії

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент,
Вапнічна Вікторія Вікторівна,
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
доцент кафедри геоінженерії.

Захист відбудеться 2018 р. на засіданні ДЕК кафедри геоінженерії в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

Автореферат виставлено на сайті 2018 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час в будівельній промисловості України випускається близько 70 млн. м³ щебеню в рік. При цьому близько 30 % гірської породи йде у відходи (відсівання дрібніше 5 мм), а це млн.м³, складається на складах дробильно-сортувальних заводів, займаючи величезні площі. Так на сучасному рівні дробильно-сортувального обладнання для стаціонарних дробильно-сортувальних заводів мінімальний вихід відсіву складає 25%, а для пересувних комплексів, поширених за кордоном - 20%.

Відомі технології утилізації відсіву, що базуються на їх фракціонуванні по вузьким класам крупності з подальшим комбінуванням цих фракцій для отримання штучного піску. Однак, штучний пісок, отриманий таким шляхом, дорожче природного, а безпосередня заміна природного піску необробленим відсівом щебеню з лещадністю понад 15% при виробництві бетонів нерентабельна, так як відбувається висока витрата дорогого цементу.

Проте, вплив параметрів технологічної схеми на якість штучного піску, одержуваного з відсіву базальтового щебеню, залишається недостатньо вивченим. З цієї причини в даний час важко створити безвідходну технологію переробки відсівів базальтового щебеню, придатну в промислових масштабах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геоінженерії ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), а також плану наукових досліджень кафедри і є складовою частиною НІР «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та технологічного будівництва» (№ ДР 0115U005398) в яких автор брав участь.

Мета роботи є підвищення ефективності утилізації відсіву базальтового щебеню.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні **задачі дослідження:**

- здійснити порівняльний аналіз і дослідити перспективи розвитку існуючих технологій по переробці відсівів базальтового щебеню;
- дослідити характер розподілу частинок щебеню різної крупності після подрібнення;
- обґрунтувати емпіричну залежність для прогнозу гранулометричного складу матеріалу після дроблення.

Об'єкт дослідження — технологія дроблення щебеню на фракції.

Предмет дослідження — спосіб керування ступенем дроблення для зміни гранулометричного складу зерен.

Методи дослідження. Комплексний аналіз, що включає аналіз і узагальнення досліджень щодо вдосконалення технологій переробки базальтового щебеню, а також теоретичні дослідження рівнянь для прогнозування гранулометричного складу після дроблення матеріалу в апаратах різного типу.

Наукова новизна отриманих результатів, представлена у наукових положеннях, в яких:

1) встановлені залежності гранулометричного складу і форми зерен відсіву базальтового щебеню від частоти коливань рухомого конуса конусної інерційної дробарки, на підставі яких запропонована технологія з отриманням кубовидного щебеню з лещадністю не більше 5-6 %, що відповідає вимогам в якості наповнювача для дрібнозернистого бетону;

2) виведена емпірична залежність сумарного виходу по плюсу дробленого матеріалу від крупності, застосована при постійній твердості матеріалу за шкалою Протод'яконова, що дозволяє прогнозувати гранулометричний склад матеріалу після дроблення в конусній інерційній дробарці.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблена технологічна лінія, що дозволяє отримати кубовидний щебінь, з лещадністю не більше 5-6 %, придатний по гранулометричному складу в якості наповнювача для дрібнозернистих бетонів, що відрізняються підвищеною міцністю;

- обґрунтовано використання технології інерційного просівання для відсіву базальтового щебеню з отриманням штучного піску різної крупності, що застосовується як: наповнювач для пористих бетонів (клас крупності -5 + 2,5 мм), фільтруючий матеріал (-2,5 + 0,63 мм), матеріал для покриття руберойду (-0,63 + 0,16 мм), активна добавка до цементу (-0,16 мм);

- розроблена методика рішення грануломіцнісного рівняння кінетики подрібнення матеріалу для конусної інерційної дробарки будь-якого типорозміру.

Особистий внесок автора в роботах: [1] - встановлена залежність гранулометричного складу і форми зерен відсіву базальтового щебеню від частоти коливань рухомого конуса на прикладі дробарки КІД-300.

Апробація результатів дисертації. Основі положення та окремі результати роботи доповідалися та обговорювалися на I науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) (м. Київ, 2018 р.).

Публікації. Результати дисертації роботи опубліковано у 2 наукових працях, в тому числі 2 - в матеріалах конференції.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 111 сторінок з рисунками, таблицями, списком літературних джерел з найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми роботи та показано зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та основні задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичну цінність результатів.

У **першому** розділі представлений огляд і аналіз недоліків існуючих технологій з переробки базальтового щебеню. Умовно виділяється три групи технологій, по тому, як вони використовують відсів базальтового щебеню:

- технології, що використовують відсів базальтового щебеню (виготовлення блоків, силікатної цегли, антикорозійне покриття, плавка);
- технології, націлені на мінімізацію виходу відсіву базальтового щебеню (запропоновано спосіб, в основу якого поставлено принцип вибіркового дроблення та перемелення відходів (відсівів) нерудних корисних копалин при виробництві щебеню, гравію в залежності від міцності та форми окремих частин, які його складають);
- технології, які націлені на переробку щебеню на певні фракції крупності, що не використовують відсів з певних причин (запропоновані технологічні схеми переробки базальтового щебеню з лещадністю до 15 %, до 10-12 % і 5-7 % відповідно до вимог ГОСТу 8736-93 «Пісок для будівельних робіт»).

У **другому** розділі розглянуто гірничо-геологічні і гірничо-технічні умови Рафалівського родовища. А саме, що корисною копалиною на родовищі являються вивітрені і зачеплені вивітрянням базальти, які видобуваються для виробництва щебеню (ДСТУ Б.В.2.7-75-98 «Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт»), крихти і бутового каменю (ГОСТ 22132-76 «Бутовий камінь ТУ»). Загальна потужність їх в контурі підрахунку запасів складає 1,15-20,8 м в середньому 13,19 м. Балансові запаси затверджені УТКЗ (протокол №3074 від 28.04.70р) станом на 1.09.68р. за категоріями, в т. м³: А-3083, В-3449, С1-7904, А+В+С1=14436. Режим роботи кар'єру на розкривних і видобувних роботах прийнятий цілорічний по змінах при п'ятиденному робочому тижні. Спосіб розкриття приймаємо загальними

внутрішніми напів-траншеями. Термін служби кар'єру в умовах Рафалівського родовища базальтів з річною продуктивністю $A_{\text{річне}}=285000 \text{ м}^3$ дорівнює 19,5 років. Для вказаних умов доцільно використати транспортну систему розробки з внутрішнім відвалоутворенням. Поверхня родовища має незначне падіння в північно-західному напрямку. Родовище обводнене, розробляється одразу на всю потужність. В південній частині один видобувний уступ, в північній частині два. Згідно технічного завдання спосіб буріння прийнято ударно-обертовий з допомогою станка СБУ-100Г. В зв'язку з тим, що свердловини обводнені прийнято водостійку вибухову речовину алюмотол. Для ініціювання вибухової речовини в кожен заряду розміщували проміжний детонатор тротилову шашку Т-400Г. Для їх ініціювання застосовувався детонуючий шнур ДШЕ-9, підривання — коротко-сповільнене трьохрядне. Для створення короткого сповільнення застосовувались піротехнічні уповільнювачі РП-92-0. Ініціювання детонуючого шнура здійснювалося за допомогою електродетонаторів ЕД-8Е. Завантаження розкривних порід, представлених піском і крейдою, відбувалося екскаватором «ЭО-5124», а корисної копалини базальту екскаватором «ЭКГ-5А». При транспортуванні розкривних порід застосовувалися автосамоскиди «КрАз-256Б» вантажопідйомністю 12 т і на видобувних роботах автосамоскиди «БелАЗ-540А» вантажопідйомністю 27 т. Роботи по рекультивациі внутрішнього відвалу і укосів розкривного уступу велися паралельно з розробкою кар'єра. Енергозабезпечення та водовідлив розрахований згідно ПУЕ.

У **третьому** розділі представлено гранулометричне рівняння кінетики дроблення та подрібнення матеріалу, запропоноване в теорії сепараційних процесів. Наведено точний аналітичний розв'язок цього рівняння і обґрунтовано спрощення емпіричної залежності Розіна-Раммлера.

Конструктивною особливістю конусних інерційних дробарок є можливість подрібнення в прошарку гірської маси, тому крім деформацій стиснення зерна матеріалу відбуваються також деформації на зсув. Внаслідок

відбувається обколювання зерен матеріалу по площинах спайності, що викликає не тільки механічне пошкодження, а й розрив хімічних зв'язків. Виходить механоактивований штучний пісок, при використанні якого в якості наповнювача для дрібнозернистого бетону в 1,5 рази збільшується швидкість приготування бетонної суміші.

У запропонованій технології переробки відсівів базальтового щебеню конусна інерційна дробарка є основним засобом для отримання необхідного гранулометричного складу і форми зерен кінцевого матеріалу.

Доктор технічних наук, професор Тихонов О.М. запропонував гранулометричне рівняння кінетики руйнування полімінеральної сировини, що враховує загальний механізм руйнування при дробленні або подрібненні матеріалу.

$$\frac{\partial y(l, \xi, t)}{\partial t} = \int_l^{l_{max}} \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} q_{отн}(R, K, l, \xi) \cdot \gamma \cdot dR \cdot dK - \int_l^l \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} q_{отн}(l, r, \xi) \cdot \gamma \cdot dr \cdot d\xi \quad (1)$$

де: R - початкова крупність шматків, мм; l - крупність шматків в будь-який момент часу t ; K - початкова твердість зростків мінералів по Протод'яконову; ξ - твердість зростків мінералів по Протод'яконову в будь-який момент часу t ; γ - диференціальний розподіл по крупності l , мм в момент часу t , с; $q_{отн}(R, K, l, \xi)$ - відносний потік матеріалу з великої фракції R , мм в поточну фракцію l , мм; $q_{отн}(R, l,)$ - відносний потік матеріалу з розрахункової фракції l , мм в дрібну фракцію r , мм. Розмірність $q_{отн}$. – т/год · мм.

Перше припущення полягає в тому, що твердість матеріалу за шкалою Протод'яконова приблизно однакова.

Наприклад, Рафалівське родовище представлено базальтовими породами однорідними по мінералогічному складу і будовою.

Отже, для деяких типів руд першого припущення має сенс. Математично воно має вигляд:

$$\xi = const \quad (2)$$

Тоді в рівнянні (1) залишається одна змінна інтегрування - крупність l і воно набуває вигляду:

$$\frac{\partial \gamma(l,t)}{\partial t} = \int_l^{l_{max}} q_{отн.}(R, l) \cdot \gamma \cdot dR - \int_0^l q_{отн.}(l, r) \cdot \gamma \cdot dr \quad (3)$$

Друге припущення відноситься до дробарки КІД і полягає в тому, що абсолютний потік матеріалу при дробленні, а отже і кінцевий гранулометричний склад залежить лише від показників апарату і не залежить від початкової крупності R і кінцевої крупності r . Безумовно, це ідеалізація, але на практиці це припущення означає, що, змінюючи параметри апарату (дробарки, млина, дезінтегратора) можна регулювати кінцевий гранулометричний склад в широких межах.

На рис. 1 представлені межі зміни гранулометричного складу дробленого матеріалу на прикладі КІД-300. При зміні лише частоти коливань рухомого конуса і відцентрової сили, що розвиває дебаланс дробарки можна змінювати гранулометричний склад в широких межах, тому друге припущення має сенс.

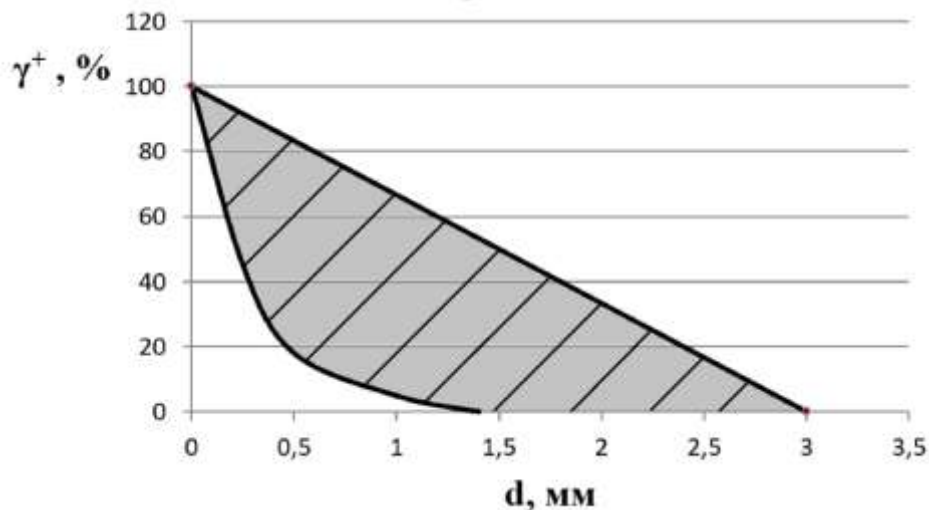


Рис. 1 Межі зміни гранулометричного складу дробленого продукту в конусних інерційних дробарках на прикладі КІД-300

Перекладаючи на математичну мову, отримуємо друге припущення:

$$\int q_{отн.}(R, l) \cdot dR = \int q_{отн.}(l, r) \cdot dr = Q \quad (4)$$

де Q - абсолютний потік матеріалу, т/год.

Застосувавши обидва припущення, проінтегрувавши рівняння (3) по l від 0 до l і переходячи до сумарного виходу по плюсу γ^+ , % підстановкою $\gamma^- = 1 - \gamma^+$ можна отримати наступне рівняння для прогнозу:

$$\frac{\partial \gamma^+}{\partial t} = -Q \cdot \gamma^+ \quad (5)$$

Дане диференціальне рівняння має точне аналітичне рішення:

$$\gamma^+(l, t) = \gamma^+(t, 0) \cdot \exp(-Q \cdot t) \quad (6)$$

Аналітичне рішення прогнозуючого грануломіцнісного рівняння кінетики дроблення і подрібнення матеріалу, отримане при двох ідеальних умовах для вібраційної дробарки КІД, необхідно апроксимувати емпіричною залежністю Розіна-Раммлера, яка описує фізично подібний процес для млинів самороздрібнення і застосовується для конусних інерційних дробарок будь-якого типорозміру.

Рівняння Розіна-Раммлера спочатку описує процес подрібнення, в тому числі процес самороздрібнення, який по ряду ознак близький до процесу руйнування матеріалу в КІД:

- матеріал отримує навантаження, що змінюється з певною періодичністю і високою частотою;
- дроблення в обох випадках відбувається в шарі матеріалу і носить комплексний характер, тобто поєднуються два види деформації (стирання і удар для млина, стиснення і зсув для КІД).

Тому можна говорити про фізичну подібність обох процесів дроблення. Спираючись на цей факт і дослідження Загустіна А.І. з подрібнення кварцу з урахуванням рівняння (6) отримуємо:

$$Q \cdot t = a \cdot l^n \cdot t = b \cdot l^n \quad (7)$$

де n - показник ступеня, що характеризує неоднорідність вихідного матеріалу по гранулометричному складу; a - коефіцієнт пропорційності, b - постійна, яка характеризує ступінь подрібнення. В результаті отримана емпірична залежність Розіна-Раммлера, визначено її коефіцієнти і оцінено збіжність прогнозу з експериментом (рис. 2).

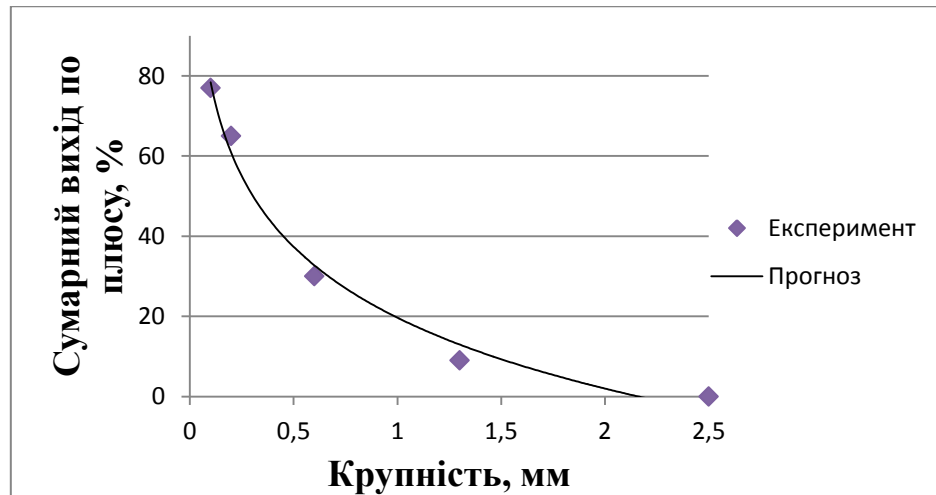


Рис. 2 Збіжність експериментального гранулометричного складу відсіву базальтового щебеню з гранулометричним складом, отриманим по емпіричному рівнянню

$$\gamma^+ = 100 \cdot \exp(-b \cdot l^n)$$

$$\gamma^+ = 100 \cdot \exp(-2,41 \cdot l^{1,13}) \quad (8)$$

Для оцінки меж застосовності отриманої емпіричної залежності було проведено порівняння наведених гранулометричних характеристик конусних інерційних дробарок різного типорозміру і встановлено, що дроблення в них відбувається однаково незважаючи на деякі відмінності в режимі роботи (рис. 3).

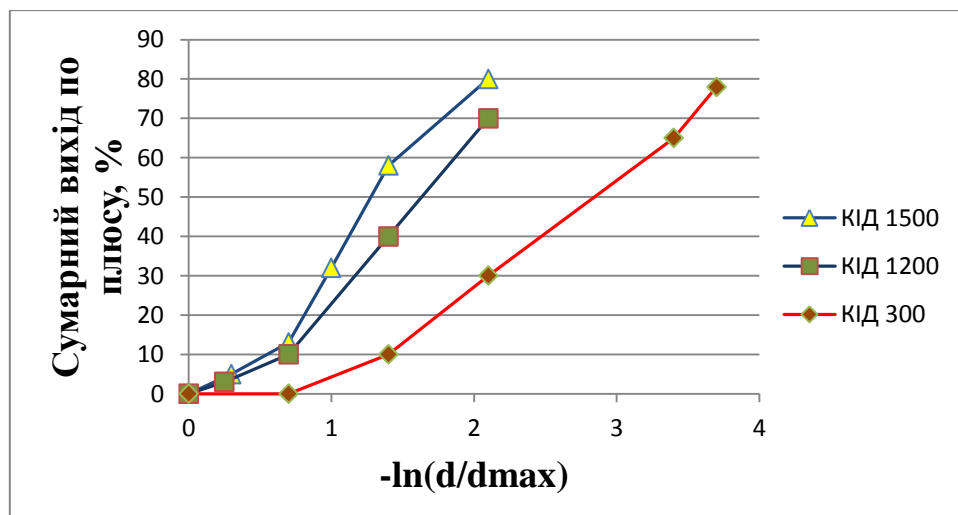


Рис. 3 Порівняння наведених гранулометричних характеристик для дробарок КІД-300, КІД-1200, КІД-1500

У четвертому розділі наведений стартап-проект.

Висновки

1. Досліджено вплив частоти коливань рухомого конуса конусної інерційної дробарки на форму зерен і гранулометричний склад дробленого матеріалу.
2. Запропонована методика рішення грануломіцнісного рівняння кінетики руйнування для конусної інерційної дробарки з отриманням точного аналітичного рішення, що виражається показниковою функцією;
3. Встановлено, що аналітичне рішення грануломіцнісного рівняння кінетики руйнування спрощується емпіричною залежністю Розіна-Раммлера;
4. Встановлено, що емпірична залежність Розіна-Раммлера при прийнятих обмеженнях, може бути застосована для конусних інерційних дробарок будь-якого типорозміру, що дозволяє прогнозувати роботу промислової дробарки, ґрунтуючись на роботі лабораторної дробарки.

Основні положення і результати магістерської дисертації опубліковані у роботах:

1. Бачинський М.О. Аналіз технологічної схеми для переробки відсіву базальтового щебеню / М.О. Бачинський, В.В. Вапнічна // Матеріали І науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). – Київ, 2018. – С. 4 – 6.

Анотація

Бачинський М.О. Удосконалення маловідходної технології видобутку щебеневої сировини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 184 – Гірництво – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2018.

Дисертація присвячена покращенню існуючої технології переробки базальтів на щебінь зі збільшеним вмістом кубовидності.

Було проведено порівняльний аналіз існуючих технологій по переробці відсівів базальтового щебеню, а також досліджено перспективи їх розвитку.

Було досліджено характер розподілу частинок щебеню різної крупності після подрібнення і встановлено що гранулометричний склад матеріалу після дроблення залежить від властивостей матеріалу, характеристик обладнання та технологічної схеми.

Було обґрунтовано емпіричну залежність для прогнозу гранулометричного складу матеріалу після дроблення і встановлено, що отримані приведені гранулометричні характеристики мають однакову кривизну, і дозволяють стверджувати, що процес руйнування матеріалу при прийнятих ідеалізаціях можна описати емпіричним рівнянням Розіна-Раммлера.

Summary

Bachinsky M.O. Improvement of low-yielding technology of mining of crushed raw materials. - The manuscript.

Thesis for a Master's degree in specialty 184 - Mining - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the improvement of the existing technology of processing basalts to rubble with increased content of cuboid.

A comparative analysis of existing technologies for the processing of basalt gravel withdrawals was conducted, as well as prospects for their development.

The character of the distribution of gravel particles of various sizes after crushing was investigated and it was established that the granulometric composition of the material after crushing depends on the properties of the material, the characteristics of the equipment and the technological scheme.

The empirical dependence for the prediction of the granulometric composition of the material after crushing was substantiated, and it was established that the obtained granulometric characteristics have the same curvature and suggest that the process of material destruction in the adopted ideals can be described by the empirical Rosin-Rammler equation.

Бачинський Микола Олександрович

УДОСКОНАЛЕННЯ МАЛОВІДХОДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ
ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 184 «Гірництво»

Автореферат
магістерської дисертації професійного спрямування
на здобуття наукового ступеня магістра