

© О.В. Черняєв¹, О.О. Анісімов¹, П.Б. Саїк¹, В.Г. Лозинський¹, А.А. Адамчук¹
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВПЛИВ СТАДІЙНОСТІ ПЕРЕРОБКИ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ НА ЯКІСНІ ТА КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

© O. Cherniaiev¹, O. Anisimov¹, P. Saik¹, V. Lozynskyi¹, A. Adamchuk¹
¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

INFLUENCE OF MINERAL RAW MATERIAL PROCESSING ON THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE INDICATORS OF CRUSHED STONE PRODUCTION

Мета. Вивчення та дослідження впливу стадійності переробки сировини на якісні та кількісні показники виробництва з наступним формуванням технологічних схем комплексів з переробки мінеральної сировини для отримання щебеневої продукції.

Методика дослідження. В роботі використано теоретичний аналіз, систематизацію та узагальнення інформації щодо основних фізико-механічних властивостей гірських порід придатних для виготовлення матеріалів будівельної промисловості. Вивчено особливості застосування різних типів дробарок залежно від їх продуктивності та крупності вхідного матеріалу. Візуалізовано технологічні схеми дробильно-сортувальних заводів у програмному середовищі AutoCAD з отримання готової щебеневої продукції, заповнювача для бетону та для асфальтної суміші.

Результати дослідження. Визначено, що якісно-кількісні показники готової продукції залежать від багатьох факторів: гранулометричного складу вихідної сировини, виду та кількості засмічувальних домішок, наявності зерен лещадної і голчастої форм, число стадій дроблення, необхідність операцій грохочення в окремих стадіях, тип дробильного устаткування та ін. Встановлено, що ефективність роботи комплексу обумовлена необхідністю оптимізації та розрахунків технологічної лінії для кожного конкретного виду вхідної сировини, а усереднені показники роботи дробильного обладнання по їх типам можна розраховувати на основі продуктивності. Сформовано найпоширеніші типові технологічні схеми, які можна коригувати залежно від конкретних виробничих умов.

Наукова новизна. Встановлено найбільш оптимальні типові технологічні схеми з переробки мінеральної сировини, які можна коригувати залежно від конкретних виробничих умов при змінній продуктивності та вимог щодо якості готової продукції при тристадійній схемі дроблення.

Практичне значення. Запропоновано технологічні схеми, що дозволяють здійснювати безперервне й економічне дроблення, оскільки зменшуються затримки живлення у разі засмічення живильного отвору, покращуються умови експлуатації футеровки, збільшується тривалий термін експлуатації дробарок в умовах діючих кар'єрів України з видобутку та переробки сировини для отримання щебеневої продукції.

Ключові слова: мінеральна сировина, дроблення, технологічні схеми, дробильно-сортувальний завод, мобільні дробильно-сортувальні установки.

Вступ. Мінеральна сировина представляє собою велику групу корисних копалин, широко розповсюджених у земній корі й різноманітна за своїми властивостями [1]. Урбанізація міст, інтенсивне зростання житлового, промислового й дорожнього будівництва зумовлюють необхідність постійного збільшення обсягів видобутку будівельних матеріалів [2].

Всі неметалічні корисні копалини можна розділити на такі групи [3]:

1. Будівельні матеріали – природний будівельний камінь, в'язучі матеріали, заповнювачі для бетону – граніт та т.п.;

2. Сировина для хімічної промисловості й сільського господарства – апатити, фосфорити, сірка, сіль та ін.;

3. Технічна сировина – азбест, тальк і тальковий камінь, графіт, слюди, барит і витерит, алмаз, корунд і наждак, гранати, агат, мінеральні фарби.

4. Металургійна сировина – магнезит, доломіт і вапняк, вогнетривкі глини, кварцити, формувальні піски, високо-глиноземисті мінерали, плавиковий шпат.

5. Сировина для керамічної й скляної промисловості – польовий шпат, кварцит, нефелін, глини й каоліни, і скляні піски.

6. Дорогоцінні й виробні камені, оптичні мінерали – гірський кришталь і моріон, топаз, смарагд, рубін, сапфір, оптичний флюорит та ісландський шпат, нефелін і т.п.

Інтрузивні скельні породи, що застосовуються як основні будівельні матеріали для виготовлення щебеневої продукції, які відрізняються розмаїтістю форм покладів. Для глибинних порід (граніти, діорити, габро) характерні тіла зі значними розмірами (як у плані, так і на глибину), що досягають часто десятків і сотень кілометрів (батоліти, лаколіти, штоки та ін.) і характеризуються однорідністю вмісту [4]. Рідше зустрічаються більш дрібні тіла типу жил і даєк, що мають змінну потужність і невитриманий вміст. Вивержені породи залягають у формі потоків і покривів потужністю до сотень метрів, а також у вигляді жил і даєк різної величини, що характеризуються мінливим вмістом [5]. Характерною рисою цих порід є тріщинуватість, вивчення й облік якої при розробці представляє значний практичний інтерес.

Багато магматичних порід у деякій мірі бувають вивітряними на різну глибину, що має велике значення при оцінці якості корисної копалини й гірничо-геологічних умов родовища [6–8]. Наприклад, номенклатура гранітної (кам'яної: мігматити, гнейси, діорити, габро, лабрадорити, сієніти, міцний вапняк) продукції представлена як камінням, так і готовими виробами (рис. 1). Видобуток вищезгаданої корисної копалини має велике значення для різних цивільних та промислових галузей нашої держави.

За даними літературних джерел на території України розвідано, зареєстровано й узято на баланс понад 1370 родовищ скельних нерудних корисних копалин, з них понад 740 – родовища осадових і метаморфізованих порід, близько 630 – корисні копалини магматичного походження, на яких добувають будівельний камінь різних сортів та якості: від звичайного буту й щебеню до високоякісного облицювального каменю [9–11]. Велика кількість родовищ зазначених

корисних копалин мають значні просторові розміри – їхні глибинні параметри досягають десятків кілометрів [12, 13].

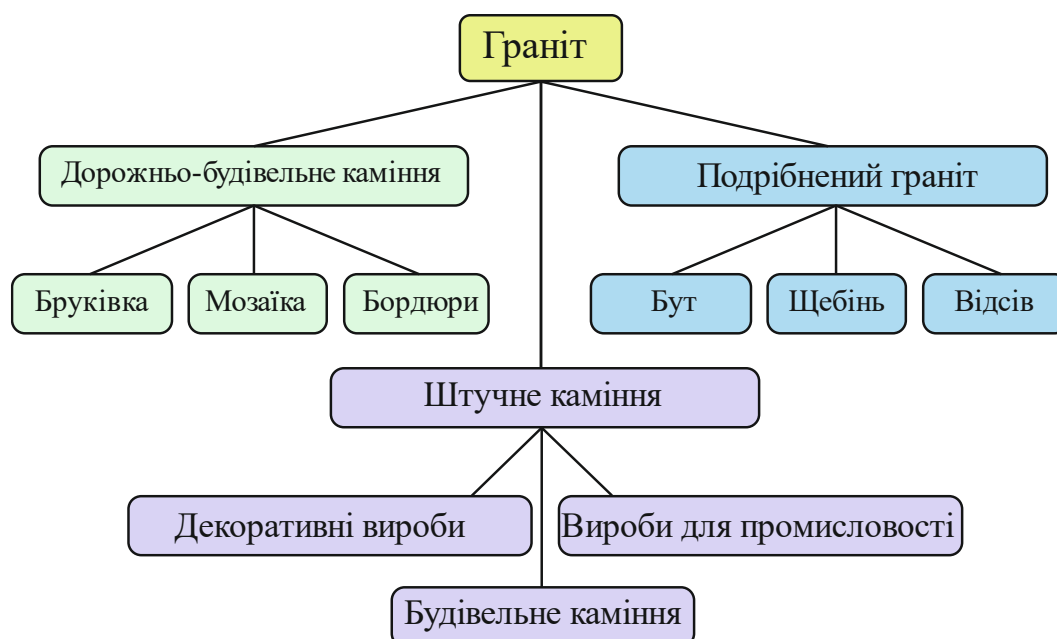


Рис. 1. Номенклатура гранітної продукції

Основний район розташування вивержених і метаморфічних порід – Український кристалічний щит [14, 15]. На його площі, яка складає більше 100 тис. км², поширені різні докембрійські вивержені й метаморфічні породи: граніти, лабрадорити, діабазити, гнейси, кварцити, мармур та ін. Вихід цих порід на поверхню найчастіше спостерігається на схилах долин рік, у ярах, балках і лише в окремих рівнинних місцевостях вони виступають на поверхню [16–18].

Особливо широкою різноманітністю представлені граніти різного віку, текстури й фарбування. Родовища червоних гранітів різних відтінків і зернистості присутні в Житомирській, Кіровоградській, Дніпропетровській і Донецькій областях. Сірі дрібно і середньо зернисті граніти розробляються в Миколаївській, Донецькій, Кіровоградській, Дніпропетровській, Запорізькій і Київській областях. Темно-сірі й порфіровидні граніти поширені у Вінницькій та інших областях [19, 20]. За межами Українського щита вивержені й метаморфічні породи поширені також у Чивчинських горах і Рахівському кристалічному масиві Карпат (мармури й мармуроподібні вапняки), Вигорлат-Гутинському гірському пасмі у Закарпатській області (базальти, андезити, дацити), у Рівненській області (родовища базальтів), а також у районі Кримських гір і частково їхнього передгір'я (мармури, мармуроподібні вапняки, діорити).

Аналіз досліджень і публікацій. Відпрацювання корисної копалини й порід розкриття на кар'єрах, що здійснюють видобуток нерудної сировини, ведеться за типовими, загальноприйнятими технологічними схемами [21]. Відпрацювання магматичних родовищ з видобутку нерудних корисних копалин здійснюються горизонтальними шарами з поступовим поглибленням зі швидкістю 2–6 м/рік, на

кар'ерах з невеликою площею гірничого відводу швидкість поглиблення може досягати 10 м/рік.

Початковим процесом, який в подальшому впливає на дроблення і переробку скельних порід, є буропідривні роботи. Буріння свердловин на кар'ерах України виконуються верстатами: 2СБШ-250, СБШ-250 МН, СБУ-200, СБУ-160, СБУ-125, Урал-64. Підривні роботи виконуються, в основному, підрядними організаціями. Заряджання свердловин виконується як у ручну, так і механізовано. У даний період широке поширення одержало ведення буропідривних робіт із застосуванням сучасних бурових верстатів фірми «Atlas Copco» (типу: Roc-L6, Roc-L8 та ін.), з діаметром свердловин від 95 до 200 мм, із застосуванням емульсійних вибухових речовин типу: анемікс з неелектричною системою ініціювання типу – «Nonel» й «Імпульс».

Гірничу масу, як правило, виймається однокішшевіми екскаваторами або драглайнами з ємкістю ковша до 8 м³. Навантаження гірничої породи здійснюється в автосамоскиди вантажністю від 12 до 40 т. В останнє десятиліття широке поширення на кар'ерах нерудних корисних копалин отримало імпортне устаткування: прямі й зворотні гідравлічні мехлопати з ковшем ємкістю до 5 м³; автосамоскиди вантажністю від 15 до 60 т, колісні навантажувачі з ковшами ємкістю від 2,5 до 10 м³. В основному застосовується техніка фірм: «Caterpillar», «Hyundai», «Liebherr», «Daewoo», «JSB» та ін.

На багатьох кар'ерах відбувається технічне переоснащення та використовується різна сучасна техніка: колісні навантажувачі з ємкістю ковшів 2,5–8 м³ (марок: Caterpillar, Doosan, Daewoo, Hitachi, JCB, Komatsu, Volvo), бурові верстати з діаметром долота від 95 до 155 мм (фірм: Atlas Copco, Sandvik, Sany, Sunward), мобільні дробильно-сортувальні установки для переробки гірничої маси на 3–4 фракції щебеню, які розташовуються у робочому просторі кар'єру (фірм: Fintex, Atlas Copco, Terex та ін.) [22]. При цьому спостерігається збільшення ефективності ведення бурових, виймально-навантажувальних, транспортних процесів і процесів переробки.

Зазвичай транспортування корисної копалини здійснюється автотранспортом до прийомних установок дробильно-сортувальних (ДСЗ) і каменедробильних заводів (КДЗ) на відстань 0,3–3 км і більше [23].

Підприємства нерудних будівельних матеріалів, що виготовляють заповнювачі для бетону, асфальтні суміші та інші будівельні матеріали з скельних нерудних корисних копалин повністю охоплюють процес видобутку сировини в кар'єрі та її переробку на заводі. А технологічні схеми дробильно-сортувальних заводів (ДСЗ) із виробництва зазначених будівельних матеріалів характеризується такими чинниками, як: масою гірничої породи, що надходить з вибою кар'єра на переробку; номенклатурою та якістю готової продукції; типом устаткування ДСЗ, що застосовується, з урахуванням комплексності використання сировини, економії сировинних та матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів [24–26].

Водночас до основних класифікаційних характеристик видобутої для переробки гірської маси відносять міцність, однорідність, абразивність; розмір шматків і частинок матеріалу (гранулометричний склад вихідної сировини); вид та кількість засмічувальних домішок; наявність зерен лещадної і голчастої форм [27, 28]. Зазначені характеристики вхідної сировини суттєво впливають на виробничий процес переробки та якісні і кількісні показники готової продукції. При цьому, як показує вітчизняний та зарубіжний досвід будівництва й експлуатації автомобільних доріг для асфальтобетонних сумішей верхніх шарів покриттів, найбільш оптимальним є щебінь фракцією: 5–10, 10–20, 20–40 мм. Із них порівняно просто підібрати потрібні суміші оптимального зернового складу. На сьогодні в європейських країнах для влаштування верхніх шарів дорожнього покриття почали використовувати щебеневі мастильні асфальтобетонні суміші (ЩМА) з підвищеним умістом кубовидних зерен, які забезпечують більш високу міцність, довготривалість, економічність верхніх дорожніх покриттів та краще зчеплення шин із дорогою. Щебінь має бути із добре вираженою шорсткістю природного відколу, тому перевагу надають гірським породам зернистої кристалічної структури, а також породам, здатним залишатися шорсткуватими за рахунок компонентів різної твердості.

Щодо використання щебню як заповнювача бетонів, то він повинен утворювати твердий кістяк, збільшуючи його міцність та модуль деформації, зменшуючи повзучість, усадку, підвищуючи його довговічність та скорочуючи витрати цементу [29]. Водночас присутність дрібного заповнювача «піску» впливає на реологічні властивості бетонної суміші, а саме в'язкість, граничне напруження на зсув, а також на її щільність. Форма зерен заповнювача безпосередньо впливає на зручність укладання бетонної суміші. Крім цього, щебінь із зернами лещадної або голчастої форми має значно більшу пустотність, ніж щебінь з кубовидними зернами [30].

У сучасних європейських стандартах форму зерен оцінюють за «індексом форми», тобто за середнім відношенням найбільшого й найменшого розмірів зерен проби [31, 32]. Таке оцінювання дає можливість робити висновки про форму усієї маси зерен щебеню. Відповідно до стандартів, щебінь поділяють на три категорії: звичайний, недодроблений, перероблений кубічної форми.

Звичайний щебінь за стандартами України може мати зерна пласкої і голчастої форми, але до форми зерен щебеню більш високих категорій висувають досить жорсткі вимоги. Міцність бетону зі збільшенням у щебені вмісту частинок лещадної форми (до 50 і 100 %) знижується зі зниженням об'ємної ваги бетону через недоуцільнення бетонної суміші.

Усі вище зазначені класифікаційні характеристики переробленої будівельної сировини обумовлюються технічними та технологічними рішеннями, застосованими при проєктуванні технологічних ліній дробильно-сортувальних і кам'янодробильних заводів.

Мета дослідження впливу стадійності переробки мінеральної сировини на якісні та кількісні показники виробництва з наступним формуванням технологічних схем комплексу з переробки сировини для отримання щебеневої продукції.

Відповідно до поставленої мети при дослідженні вирішувалися такі **завдання**:

– аналіз класифікації поділення основних типів дробарок та їх застосування на дробарно-сортувальних комплексах та якісних характеристик щебню, що виготовляється;

– формування технологічних схем ДСЗ на основі застосовності готової продукції.

Методи дослідження. В роботі використано теоретичний аналіз, систематизацію та узагальнення даних щодо основних фізико-механічних властивостей гірських порід, придатних для виготовлення матеріалів будівельної промисловості. На основі аналізу застосування різних типів дробарок оцінена крупність вхідного матеріалу та показники продуктивності. Це стало основою для побудови технологічних схем ДСЗ у програмному середовищі AutoCAD. Побудова схем проводилась у декілька взаємозв'язаних етапів. Перший етап включав побудову тристадійних технологічних схем продуктивністю від 200 до 350 т/год. На другому етапі було побудовано технологічну схему ДСЗ з виробництва заповнювача для бетону, на третьому - технологічна схема ДСЗ з виробництва заповнювача для асфальтної суміші.

Виклад основного матеріалу. Для виробництва щебеневої продукції використовуються глибинні (інтрузивні), виливні (ефузивні) породи, а також метаморфічні щільні (міцні) осадові корисні копалини. Найбільша кількість розвіданих родовищ порід для виготовлення щебню представлена гранітами – 51 %, інша частина – гранодіоритами – 7 %, порфіритами – 4,8 %, діабазами – 4,2 %, базальтами – 4%, андезитами – 3 %, кварцовими порфірами – 2,5 %, габродіабазами – 2,5 %, альбітофірами – 2 %, андезитбазальтами – 2 %, сієнітами – 2 %, діоритами – 1,5 %, габро – 1,5 %, кератофірами – 1,1 %, долеритами – 1 %, а також граніто-гнейсами – 4% і мігматитами – 1,1 %, що часто відносяться до метаморфічних порід, і іншими породами – порфіровими туфами, ортоіровими туфами, граносієнітами, амфіболітами, пегматитами – 5 % [3].

Фізико-механічні властивості мають значний вплив на оцінку порід, їхнє призначення, технологію видобутку нерудних корисних копалин. Навіть у межах одного родовища, а іноді й окремих ділянок родовища, фізико-механічні властивості порід часто змінюються за своїми параметрами. Найбільшою мірою неоднорідність порід проявляється в значеннях показників міцнісних і деформативних властивостей (табл. 1). Ці властивості також істотно змінюються із глибиною залягання корисних копалин. Значення щільності, пористості, водонасичення зазвичай змінюються в незначних межах до проектних глибин розробки існуючих родовищ.

Таблиця 1

Основні фізико-механічні властивості гірських порід придатних для виготовлення матеріалів будівельної промисловості

Порода	Середня щільність, кг/м ³	Границя міцності при стисненні, МПа	Модуль пружності (стиснення), МПа
Базальт	3000–3300	300–4700	43900
Діабаз	3000–3100	300–500	73200
Габро	2900–3200	100–300	71000
Граніт	2500–2800	50–250	46000
Вапняк	1800–2500	15–150	22500–65000
Пісковики	2400–2600	30–100	26000–45000

Проектування технологічних ліній ДСЗ з виробництва заповнювачів будівельної промисловості та іншої продукції нерудної видобувної промисловості ґрунтується на результатах технологічних випробувань сировини, за якими визначають схему технологічного процесу (технологічний регламент ДСЗ): кількість стадій дроблення й види просіювання, типи дробарок і грохотів, способи й устаткування для промивання й очищення матеріалу, його зневоднювання, потреба в операціях збагачення за міцністю, зерновим складом або формою зерен, а також заходи з утилізації відходів виробництва.

Важливу роль в оптимізації роботи ДСЗ має система механізації та автоматизації виробничих процесів, що має становити не менш ніж 90–95 %, що в свою чергу має вплив на якісні та кількісні показники виробництва.

В останнє десятиліття на кар'єрах України почали застосовувати сучасні мобільні або напівстаціонарні комплекси, які розташовують в виробленому просторі кар'єру, неподалік робочої зони. Основним технологічним устаткуванням пересувних мобільних дробильно-сортувальних установок (МДСУ) є живильники, дробарки, транспортери (стрічкові конвеєри), грохоти. При виборі дробильно-сортувального комплексу пересувного типу необхідно врахувати: стадійність дроблення; технологічні схеми з розрахунками об'єму сировини, що підлягає дробленню і сортуванню на кожній стадії, вибір типу і кількості устаткування для дроблення, сортування і транспортування сировини; основні навантаження, які діють на конструктивні елементи машин та їх розрахунок на міцність; техніко-економічні показники ефективності і доцільності застосування МДСУ.

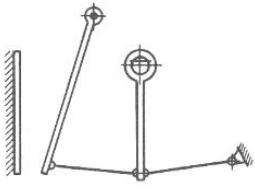
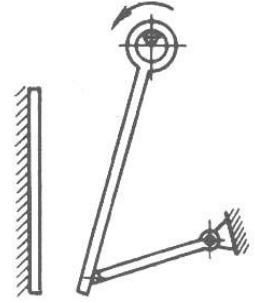
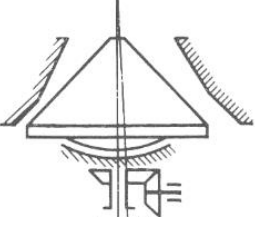
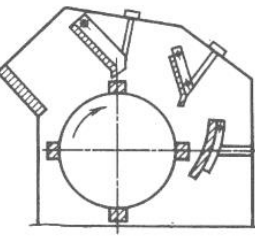
Необхідно відмітити, що проектування технологічної схеми починається із визначення сфери застосування продуктів, які потрібно отримати за відомих властивостей вхідного матеріалу. Найбільш важливими властивостями вхідної сировини, які впливають на проектування технологічної схеми дроблення, є гранулометричний склад, вміст вологи, щільність, подрібнюваність і абразивність матеріалу.

Щодо стадійності дроблення, то для першої стадії технологічної схеми ДСЗ доцільне використання або вібраційних шоккових, конусних крупного дроблення, або дробарок ударної дії з горизонтальним валом. Дробарки ударної дії

добре працюють за високої подрібнюваності (на м'яких породах) і за низької абразивності. Щоківні та конусні дробарки стискання добре працюють на твердих породах із високою абразивністю. Їх також можна використовувати для м'яких і твердих порід та порід низької абразивності. Показники змінної крупності вихідного матеріалу та продуктивності дробарок від їх типу наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Класифікація основних типів дробарок і галузь їх застосування

Тип дробарки	Схема	Призначення	Крупність вхідного матеріалу, мм	Продуктивність, м ³ /год
Щоківна з простим рухом щоків		велике і середнє дроблення міцного й абразивного матеріалу	750 ÷ 1300	180 ÷ 600
Щоківна зі складним рухом щоків		велике і середнє дроблення міцного матеріалу і матеріалу середньої тривкості	210 ÷ 510	7 ÷ 75
Конусна середнього і дрібного дроблення		середнє і дрібне дроблення міцного і абразивного матеріалу	40 ÷ 500	12 ÷ 1100
Роторна, молоткова		велике, середнє і дрібне дроблення матеріалів низької і середньої твердості	100 ÷ 1100	10 ÷ 1200

Друга стадія дроблення вимагає таких умов, як і перша, але дробарки стискання найкраще працюють за високої абразивності та низької подрібнюваності сировини.

Для дрібного дроблення можливості обрання дробарки залежно від потреби ширші, наприклад, для дроблення вапняку з високою подрібнюваністю і низькою абразивністю використовують дробарки, які працюють за принципом «камінь об ковадло», які підходять для такого дроблення. Враховуючи вимоги до форми продукту, слід використовувати дробарки, які підтримують принцип дроблення «камінь об камінь», які працюють у будь-яких умовах, незалежно від ступеня абразивності. Обмеженням для використання дробарок є максимальний розмір куска живлення. Конусні дробарки тонкого дроблення універсальні у використанні, максимальний розмір живлення можна регулювати за допомогою різних розмірів футеровки.

Конусні дробарки добре працюють з усіма типами порід. Єдиний чинник, що обмежує використання конусних дробарок за тонкого дроблення, уміст дрібних фракцій та вологи. Головне правило: не завантажувати в конусну дробарку частинки менші 5 мм, а максимальне значення вологості матеріалу живлення не має перевищувати 3 %. Дроблення на ДСЗ звичайно здійснюють за кілька стадій, оскільки необхідний ступінь дроблення в одній машині одержати практично неможливо.

Формування технологічних схем дроблення вихідної нерудної мінеральної сировини. Під час дроблення ступінь подачі вхідної сировини часто змінюється. Тому це важливий чинник, який потрібно брати до уваги, проектуючи процеси дроблення. На стадії первинного дроблення, від дрібних фракцій до дуже великих, живлення дробарки змінюється навіть на одному кар'єрі, у результаті чого продуктивність первинної стадії нестабільна в часі. Для успішного й безперервного дроблення важливо, щоб наступні стадії дроблення були максимально завантаженими під час роботи. Це можливо, якщо зовнішній вплив, що зумовлений різними розмірами кусків у живленні, буде керованим. На практиці рівномірність живлення кінцевої дробарки забезпечують за рахунок штабелів, грохотів, силосів, буферів і автоматизації процесу, що дає можливість отримати продукт однорідної якості. Як основне правило, ланцюг дроблення має бути розраховано так, щоб дробарка останньої стадії дроблення була постійно завантажена на 100 %. Цього можна досягти, якщо дробарка другої стадії завантажена на 80 %, а дробарка першої стадії – на 70 %. Це дає певний запас продуктивності на перших стадіях дроблення для подолання збоїв живлення, зумовлених змінами в живленні.

Водночас дуже важливим є задання правильного розміру завантажувального отвору дробарки залежно від розміру кусків у живленні на кожній стадії. Це гарантує безперервне й економічне дроблення, оскільки зменшуються затримки живлення у разі засмічення живильного отвору, покращуються умови експлуатації футеровки порівняно з дробарками стискання та більш тривалий термін експлуатації роторів вібраційних дробарок ударної дії. Гранулометричний склад живлення дробарки впливає на її працездатність, гранулометричний склад і форму кінцевого продукту.

Приклади технологічних схем дроблення. Основи проектування ДСЗ наведено на прикладах найпоширеніших типових технологічних схем. Наведені типові схеми коригують залежно від конкретних виробничих умов. Вибір дробарок також залежить від конкретних умов використання. Авторами роботи запропоновано 5 технологічних схем переробки сировини (рис. 2–7).

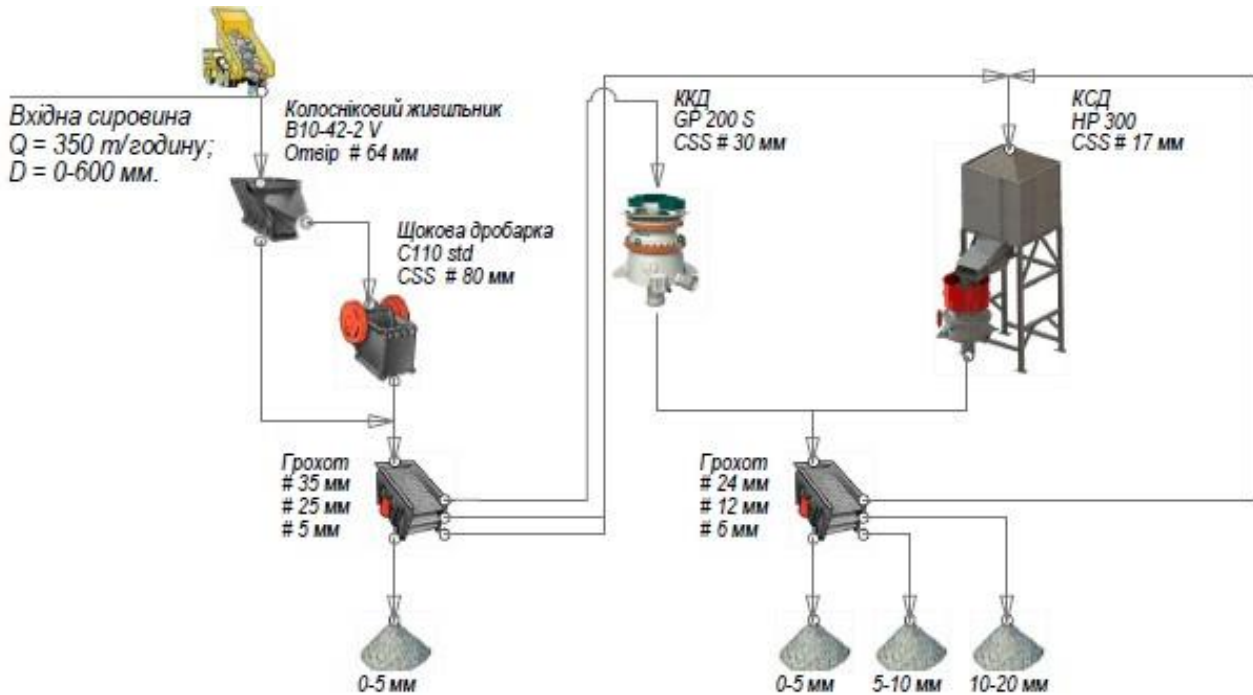


Рис. 2. Тристадійна технологічна схема ДСЗ
(Схема 1: продуктивність 350 т/год)

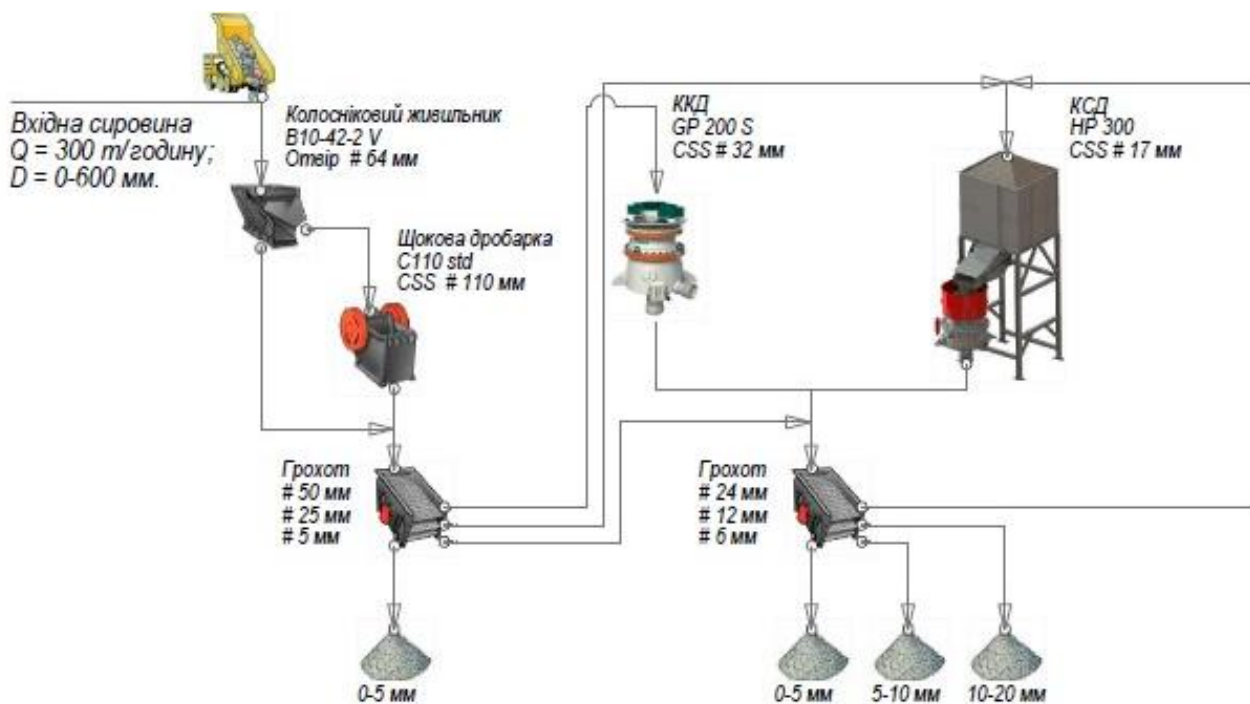


Рис. 3. Тристадійна технологічна схема ДСЗ
(Схема 2: продуктивність 300 т/год)

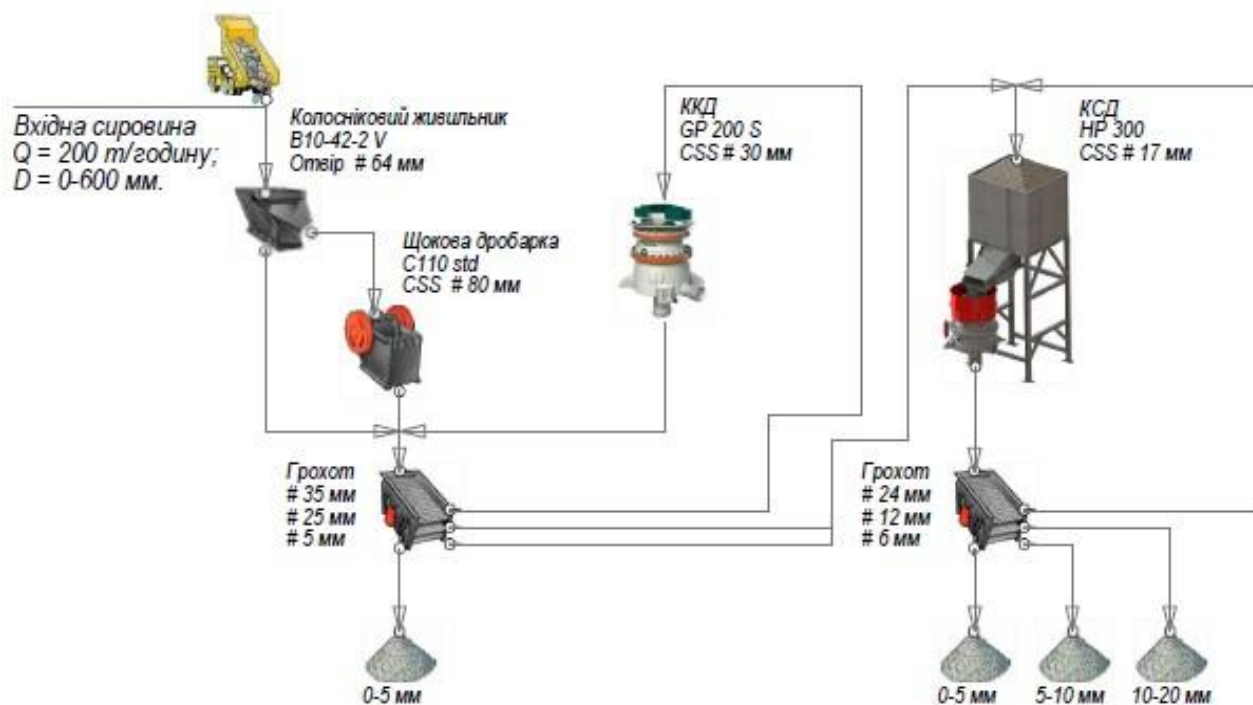


Рис. 4. Тристадійна технологічна схема ДСЗ
(Схема 3: продуктивність 200 т/год)

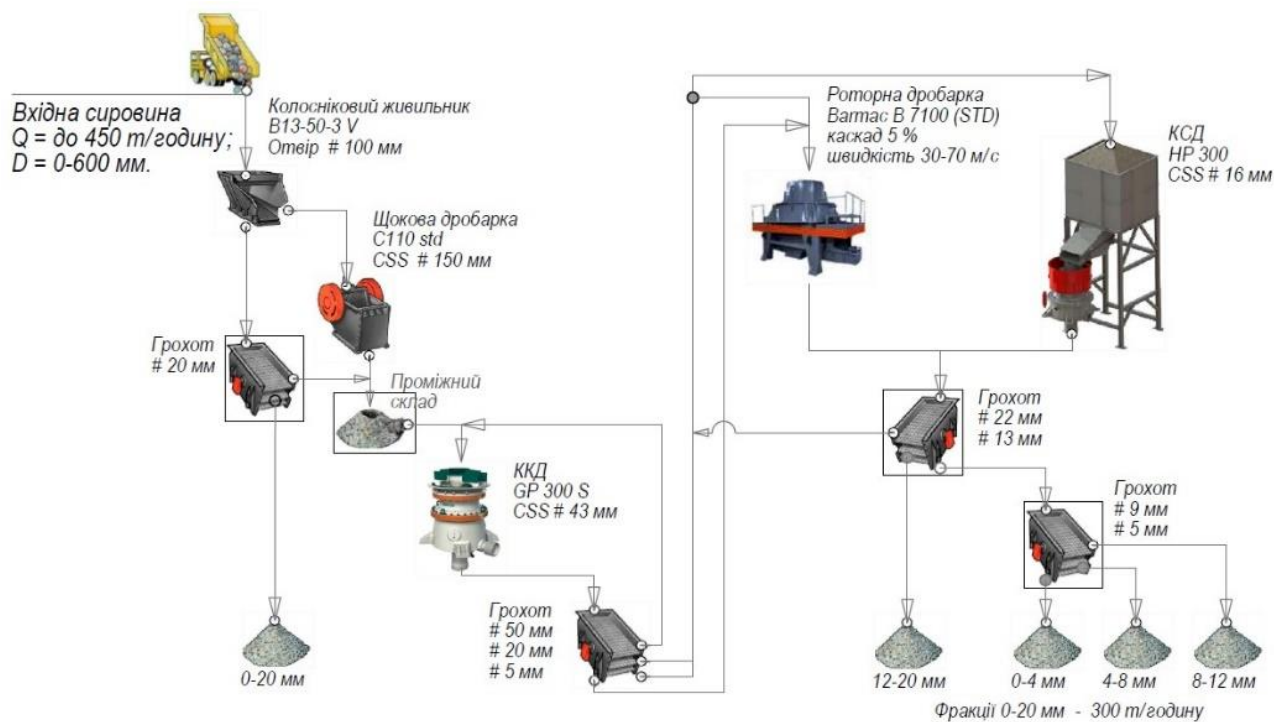


Рис. 5. Технологічна схема ДСЗ з виробництва заповнювача для бетону (Схема 4)

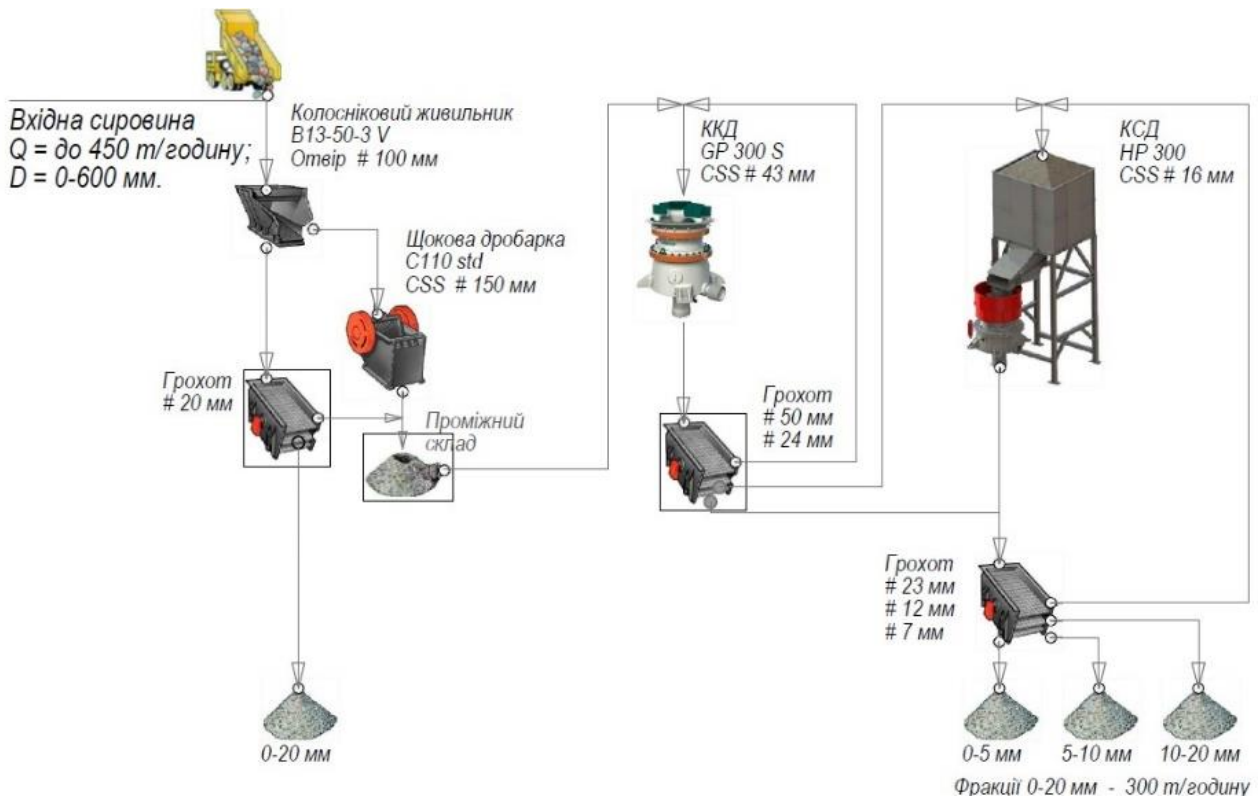


Рис. 6. Технологічна схема ДСЗ з виробництва заповнювача для асфальтної суміші (Схема 5)

Прикладом використання технологічних схем є комплекс з переробки сировини для отримання щебеневої продукції, що наведено на рис. 7. На території об'єкта розміщується майданчик попереднього складування гранітної маси та склад готової продукції, а також комплекс з переробки корисної копалини. Вхідною сировиною є попередньо підготовлена скельна гірнична маса (пісковики та граніти), що доставляється з кар'єру на промисловий майданчик і відвантажується у відповідний склад. Гранулометричний склад вхідної сировини 0–500 мм.

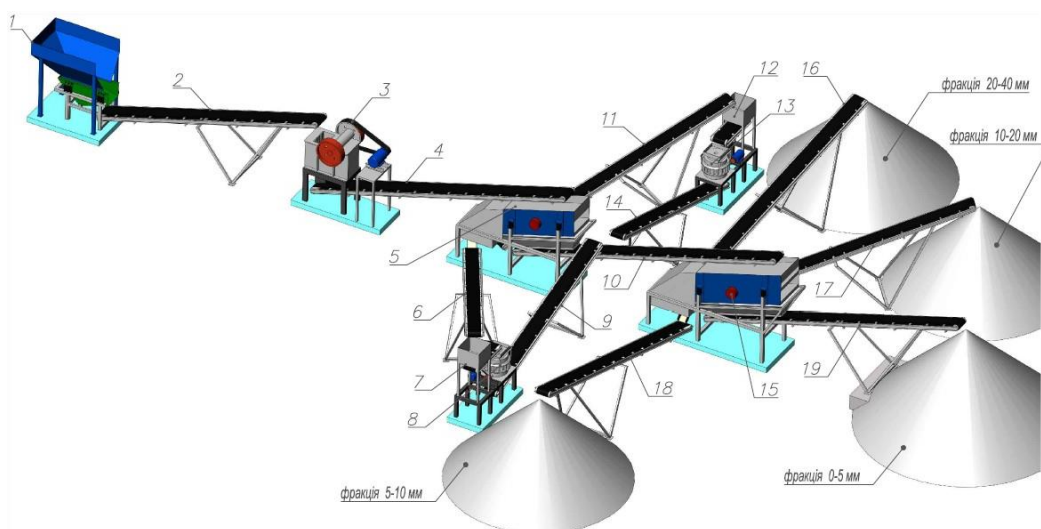


Рис. 7. Схема 3D модель комплексу з переробки сировини для отримання щебеневої продукції

Гірнична маса з кар'єру транспортується автосамоскидами Volvo, Scania вантажопідйомністю до 40 т на промисловий майданчик до складу вхідної сировини. На промисловому майданчику гірнична маса (крупністю 0-500 мм) зі складу вхідної сировини виймається фронтальним навантажувачем SEM 656D і переміщується до дробильно-сортувального комплексу (позиція 1) для подальшої переробки. Для забезпечення живлення приймального бункеру комплексу (позиція 1) навантажувачем (позиція 2) проєктом передбачається формування пандуса (позиція 6) висотою до 2,5 м, для забезпечення огляду водієм навантажувача ступеня заповнення приймального бункеру.

Завантаження гірничої маси здійснюється в приймальний бункер (позиція 1), обладнаний віброживильником. Скельна гірнична маса за допомогою конвеєра ЛК-1 (позиція 2) надходить до шокової дробарки СМД-110 (позиція 3), де дробиться до крупності 0–120 мм. Після шокової дробарки СМД-110 за допомогою конвеєра ЛК-2 (позиція 4) гірнична маса переміщується на двохдековий інерційний грохот ГІЛ-42 (позиція 5), де відбувається розділення продукції на три класи: 0–40 мм, 40–70 мм та 70–120 мм.

Продукт крупністю 40–70 мм потрапляє на конвеєр ЛК-6 (позиція 11), яким направляється до приймального бункеру з стрічковим живильником ЛП-600 (позиція 12) з ємністю 1,2–4 м³. З приймального бункеру (позиція 12) щебінь потрапляє до дробарки КСД-600 (позиція 13) і після подрібнення конвеєром ЛК-7 (позиція 14) щебінь крупністю 0–40 мм перевантажується на конвеєр ЛК-5 (позиція 10). Для отримання продукції крупністю 40–70 мм конвеєр ЛК-6 (позиція 11) повертається розвантажувальною консоллю вбік і здійснюється відсипання в конус щебеню крупністю 40–70 мм.

Продукт крупністю 70–120 мм з грохоту ГІЛ-42 (позиція 5) розвантажувється на стрічковий конвеєр ЛК-3 (позиція 6) і подається до приймального бункеру з стрічковим живильником ЛП-600 (позиція 7) з ємністю 1,2–4 м³ звідки щебінь крупністю 70–120 мм потрапляє в конусну дробарку КСД-900 (позиція 8). Після дроблення в дробарці КСД-900 (позиція 8) подріблена маса за допомогою конвеєра ЛК-4 (позиція 9) потрапляє на конвеєр ЛК-5 (позиція 10).

Продукт крупністю 0–40 мм з грохоту ГІЛ-42 (позиція 5) потрапляє на конвеєр ЛК-5 (позиція 10) і переміщується до грохоту ГІЛ-53 (позиція 15), де відбувається сортування сировини на класи крупності 0–5 мм, 5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм з переміщенням конвеєрами в конуси готової продукції. Клас крупності від 0–5 мм формується в конус конвеєром ЛК-8 (позиція 19), клас крупності 5–10 мм – конвеєром ЛК-9 (позиція 18), клас крупності 10–20 мм – конвеєром ЛК-10 (позиція 17), клас крупності 20–40 мм – конвеєром ЛК-11 (позиція 16). Готова продукція різних класів крупності за допомогою навантажувача відвантажувється з конусів у автотранспорт споживачів або розміщується у складі готової продукції.

Аналізуючи зазначені порівняльні характеристики різних технологій отримання високоякісного кубовидного щебеню, можна зробити висновок, що для отримання кубовидного щебеню необхідно забезпечити багаторазовий вплив подрібнювального механізму на породу, а руйнівна сила має діяти не на

роздавлення, а на зсув, ґрунтуючись на цих принципах, способи виробництва високоякісного кубовидного щебеню можна досягти з використанням: конусних дробарок, що працюють «під завалом» у замкнутому циклі; роторних молоткових дробарок; роторних відцентрових дробарок; використання дробарок, що забезпечують багаторазовий зсувний вплив на породу; конусних віброінерційних дробарок.

Руйнування матеріалу «у шарі» у конусних дробарках – порівняно новий технологічний метод, який забезпечує примусове самоздрібнювання матеріалу усередині власного шару під впливом віброімпульсного стиснення з одночасним зрушенням. Реалізація зазначених принципів раціонального руйнування здійснюється в конусних інерційних дробарках та вібраційних щоккових дробарках.

Відцентрові дробарки можуть приймати максимальний шматок не більший за 70 мм, а краще дотримуватись крупності живлення – 40 мм, і виготовляти кубовидний щебінь фракції 5–20 мм із продуктивністю живлення до 200 т/год і виходом фракції менше 5 мм (відсіву) – 35–50 %.

У підсумку використання ударних і відбивних дробарок можна розглядати як додаткову операцію дроблення, призначену для виправлення форми зерен без суттєвого скорочення розмірів подрібнюваного матеріалу. Відцентрові дробарки ударного типу з невеликими конструктивними відмінностями та інші елементи дробильно-сортувальних комплексів виготовляють за кордоном такі провідні фірми, як: «Metso Minerals», «Sandvik», «Fintec», «KRUPP», «Terex», «Kleemann», «Martin Stecker» тощо.

Висновки. В роботі на підставі проведеного теоретичного аналізу, узагальнення та систематизації інформації за темою досліджень отримані наступні результати:

1. Здійснено аналіз класифікації поділення основних типів дробарок та їх застосування на дробарно-сортувальних комплексах, що дозволило встановити області їх застосування при зміні якісних характеристик вихідної сировини для отримання щебеню.

2. Порівняння характеристик різних технологічних схем дроблення дозволило визначити якісні характеристики щебня при застосуванні стандартної конусної дробарки, стандартної конусної дробарки у замкнутому циклі, роторної молоткової дробарки, роторної відцентрованої дробарки, конусної віброінерційної дробарки. При цьому низька енергоємність відповідає першій і останній дробарці, а найвища притаманна роторній молотковій дробарці.

3. Сформовано п'ять технологічних схем для переробки скельної сировини і отримання щебеневої продукції: 1 схема дозволяє отримати готову продукцію у кількості 350 т/год, 2 відповідає комплексу переробки з продуктивністю 300 т/год, 3 схема призначена для дробарно-збагачувального комплексу продуктивністю 200 т/год, 4 схема ДСЗ може бути застосована для виробництва заповнювача бетону, 5 схема передбачає створення комплексу з виробництва заповнювача для асфальтної суміші.

4. Розглянуто повний цикл переробки сировини на щебеновому заводі з попереднім дробленням і отриманням класу крупності від 0–5 мм до класу крупності 20–40 мм.

Вдячність. Дослідження виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2022.01/0107 «Розробка ресурсозберігаючих технологій видобутку та переробки нерудної мінеральної сировини у воєнний та післявоєнний періоди») в рамках конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Перелік посилань

1. Dubiński, J. (2013). Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, 12(1), 1–6.
<https://doi.org/10.7424/jsm130102>
2. Nazir, M., Murdifin, I., Putra, A. H. P. K., Hamzah, N., & Murfat, M. Z. (2020). Analysis of economic development based on environment resources in the mining sector. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(6), 133–143.
<https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no6.133>
3. Симоненко В.І., Павличенко А.В., Анісімов О.О., Бондаренко А.О., Черняєв О.В., & Гриценко Л.С. (2022). *Технологія екологобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин*. Журфонд.
4. Zhu, Y., Lai, S. C., Qin, J. F., Zhu, R. Z., Zhang, F. Y., Zhang, Z. Z., & Gan, B. P. (2019). Petrogenesis and geodynamic implications of Neoproterozoic gabbro-diorites, adakitic granites, and A-type granites in the southwestern margin of the Yangtze Block, South China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 183, 103977.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.103977>
5. Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P. J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., & Bouma, T. J. (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853–862.
<https://doi.org/10.1038/s41893-020-0556-z>
6. Worthington, S. R., Davies, G. J., & Alexander Jr, E. C. (2016). Enhancement of bedrock permeability by weathering. *Earth-Science Reviews*, 160, 188–202.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.002>
7. Okewale, I. A., & Coop, M. R. (2017). A study of the effects of weathering on soils derived from decomposed volcanic rocks. *Engineering Geology*, 222, 53–71.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.03.014>
8. Dostal, J. (2017). Rare earth element deposits of alkaline igneous rocks. *Resources*, 6(3), 34.
<https://doi.org/10.3390/resources6030034>
9. Markevych, K., Maistro, S., Koval, V., & Paliukh, V. (2022). Mining sustainability and circular economy in the context of economic security in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 16(1), 101–113.
<https://doi.org/10.33271/mining16.01.101>
10. Sobolevskyi, R., Zuievskaya, N., Korobiichuk, V., Tolkach, O., & Kotenko, V. (2016). Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3 (83)), 21–29.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80652>
11. Sobko, B., & Kriachek, V. (2022). Establish of the optimum parameters of the Pinyazevytsky granite deposit mining system. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 71, 17–28.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.017>

12. Cherniaiev, O., Pavlychenko, A., Romanenko, O., & Vovk, Y. (2021). Substantiation of resource-saving technology when mining the deposits for the production of crushed-stone products. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 99–107.
<https://doi.org/10.33271/mining15.04.099>
13. Petlovanyi, M., Saik, P., Lozynskiy, V., Sai, K., & Cherniaiev, O. (2023). Substantiating and Assessing the Stability of the Underground System Parameters for the Sawn Limestone Mining: Case Study of the Nova Odesa Deposit, Ukraine. *Inżynieria Mineralna*, (1), 79–89.
<http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-10>
14. Kostenko, M. M. (2015). Regarding geotectonic zoning of crystalline basement of Ukrainian Shield. *Mineral resources of Ukraine*, (4), 7–13.
15. Orlyuk, M. I., & Orlova, M. (2013). A review of the studies results of paleomagnetic applicability of Precambrian crystalline rocks of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 35(4), 84–108.
<https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i4.2013.111422>
16. Khodosovtsev, A., Darmostuk, V., Prylutskiy, O., & Kuzemko, A. (2022). Silicicolous lichen communities of the Ukrainian Crystalline Shield. *Applied Vegetation Science*, 25(4), e12699.
<https://doi.org/10.1111/avsc.12699>
17. Elming, S. Å., Shumlyansky, L., Kravchenko, S., Layer, P., & Söderlund, U. (2010). Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: A palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study – The accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia. *Precambrian Research*, 178(1–4), 119–135.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.001>
18. Lobach-Zhuchenko, S. B., Balagansky, V. V., Baltybaev, Sh. K., Bibikova, E. V., Chekulaev, V. P., Yurchenko, A. V., Arestova, N. A., Artemenko, G. V., Egorova, Yu. S., Bogomolov, E. S., Sergeev, S. A., Skublov, S. G., & Presnyakov, S. L. (2014). The Orekhov–Pavlograd Zone, Ukrainian Shield: Milestones of its evolutionary history and constraints for tectonic models. *Precambrian Research*, 252, 71–87.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.06.027>
19. Isakov, L. V. (2017). The origin of megastructures of the Ukrainian Shield in view of the magmatic plume concept. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 25(2), 58–72.
<https://doi.org/10.15421/111720>
20. Koshliakova, T. O., & Kuraieva, I. V. (2023). Hydrogeochemical features of groundwaters of the Ukrainian shield fractured crystalline rocks on the example of Zhytomyr and Vinnytsia regions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32(3), 525–539.
<https://doi.org/10.15421/112347>
21. Gumenik, I., & Lozhnikov, O. (2015). Current condition of damaged lands by surface mining in Ukraine and its influence on environment. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 139–143.
<https://doi.org/10.1201/b19901-26>
22. Sobko, B., Hrytsenko, L., & Kriachek, V. (2023). The justification for using mobile crushing and screening plants in quarrying industrial minerals. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 72, 7–15.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.007>
23. Klanfar, M., & Vrkljan, D. (2012). Benefits of using mobile crushing and screening plants in quarrying crushed stone. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 36(3), 167–175.
24. Joseph, P., & Tretsiakova-McNally, S. (2010). Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*, 2(2), 400–427.
<https://doi.org/10.3390/su2020400>
25. Zheng, L., Zheng, Z., Chen, Y., & Qi, A. (2023). Environmental protection evaluation of new inorganic non-metallic building materials based on principal component analysis. *International Journal of Materials and Product Technology*, 67(2), 178–193.
<https://doi.org/10.1504/IJMPT.2023.133050>

26. Wang, Y., Lei, Y., Chen, W., & Wu, Y. (2023). An analysis of mechanical properties of inorganic non-metallic materials for civil buildings. *International Journal of Materials and Product Technology*, 66(3–4), 419–432.
<https://doi.org/10.1504/IJMPT.2023.130203>
27. Du, K., Li, X., Tao, M., & Wang, S. (2020). Experimental study on acoustic emission (AE) characteristics and crack classification during rock fracture in several basic lab tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 133, 104411.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104411>
28. Stöffler, D., Hamann, C., & Metzler, K. (2018). Shock metamorphism of planetary silicate rocks and sediments: Proposal for an updated classification system. *Meteoritics & Planetary Science*, 53(1), 5–49.
<https://doi.org/10.1111/maps.12912>
29. Rao, K. B., Desai, V. B., & Mohan, D. J. (2012). Experimental investigations on mode II fracture of concrete with crushed granite stone fine aggregate replacing sand. *Materials Research*, 15(1), 41–50.
<https://doi.org/10.1590/s1516-14392011005000093>
30. Salehi, M., Bayat, M., Saadat, M., & Nasri, M. (2021). Experimental study on mechanical properties of cement-stabilized soil blended with crushed stone waste. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(6), 1974–1984.
<https://doi.org/10.1007/s12205-021-0953-5>
31. Bai, X., Luo, L., Yan, W., Kovi, M. R., Zhan, W., & Xing, Y. (2010). Genetic dissection of rice grain shape using a recombinant inbred line population derived from two contrasting parents and fine mapping a pleiotropic quantitative trait locus qGL7. *BMC genetics*, 11, 1–11.
<https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-16>
32. Prasetya, I., & Maulana, A. (2019, September). Effects of crushed stone waste as fine aggregate on mortar and concrete properties. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620(1), 012040.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/620/1/012040>

ABSTRACT

Purpose. Explore the impact of raw material processing stages on qualitative and quantitative production indicators and devise technological schemes for processing mineral raw materials to produce crushed stone products.

Methodology. The study employs theoretical analysis, information systematization, and generalization of key physical and mechanical properties of rocks suitable for construction materials. We investigate the nuances in utilizing various crushers based on productivity and input material size. Additionally, technological schemes for crushing and sorting plants are visualized using AutoCAD to obtain finished crushed stone products for concrete and asphalt mixtures.

Findings. The study revealed that the qualitative and quantitative characteristics of finished products are influenced by various factors, including the granulometric composition of the raw material, type and number of impurities, presence of vices and needle-shaped grains, number of crushing stages, screening requirements at individual stages, and the type of crushing equipment. Efficiency of the complex is contingent upon the optimization and calculations of the technological line for each specific raw material type. Performance indicators of crushing equipment types can be calculated based on productivity. Common typical technological schemes have been identified, adaptable to specific production conditions.

Originality. Optimal typical technological schemes for mineral raw material processing have been identified. These schemes are adaptable to variable productivity and quality requirements for finished products, particularly with a three-stage crushing scheme.

Practical implications. Proposed technological schemes enable continuous and cost-effective crushing, reducing power supply delays due to clogging of the feeding hole. These schemes also enhance operating conditions for lining, contributing to the prolonged service life of crushers. The application of these schemes is particularly beneficial in the active quarries of Ukraine for the extraction and processing of raw materials to produce crushed stone products.

Keywords: *mineral raw materials, crushing, technological schemes, crushing and sorting plant, mobile crushing, and sorting plants.*