

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Білецький В.С., Олійник Т.А.,
Смирнов В.О., Скляр Л.В.**

**ОСНОВИ
ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
ЗБАГАЧЕННЯ
КОРИСНИХ КОПАЛИН**

Київ
Видавництво Ліра-К
2020

УДК 622.7
Б61

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Криворізького національного університету
(протокол № 5 від 26.12.2018 р)*

Рецензенти:

Гайко Г.І. – д.т.н., професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лялюк В.П. – д.т.н., професор Криворізького металургійного інституту національної металургійної академії України

Шпильовий Л.В. – к.т.н., директор ТОВ «Азов–Мінералтехніка», Донське, Україна

Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В.

Б61 Основи техніки та технології збагачення корисних копалин : навч. посібн. Київ : Видавництво Ліра-К 2020. 634 с.

ISBN 978-617-7910-58-8

Посібник є системною комплексною навчальною книгою, в якій викладено питання техніки і технології підготовчих, основних і заключних операцій збагачення корисних копалин.

Викладені основи техніки і технології процесів дроблення, подрібнення і грохочення корисних копалин. Розглянуті основні конструкції технологічного обладнання, його принцип дії і технологічні характеристики. Подано методики і приклади розрахунку схем дроблення і подрібнення корисних копалин.

Викладені основи техніки і технології процесів гравітаційного, флотаційного, магнітного, електричного, а також спеціальних процесів збагачення корисних копалин. Розглянуті основні конструкції технологічного обладнання, його принцип дії і технологічні характеристики.

Викладені основи техніки і технології процесів зневоднення, фільтрування, центрифугування, сушіння продуктів збагачення і очищення стічних вод. Крім того, описана техніка і основи технології знепилення на збагачувальних фабриках, грудкування, зокрема, брикетування корисних копалин. Описане хвостове господарство і водопостачання збагачувальних фабрик. Розглянуті основні конструкції технологічного обладнання, його принцип дії і технологічні характеристики.

Видання призначене для студентів вузів та фахівців гірничих спеціальностей. Книга може слугувати посібником для магістрів та аспірантів зі спеціальності «Збагачення корисних копалин».

УДК 622.7

ISBN 978-617-7910-58-8

© Білецький В.С., Олійник Т.А.,
Смирнов В.О., Скляр Л.В., 2020
© Видавництво Ліра-К, 2020

ЗМІСТ

Вступ	9
Передмова	23

ЧАСТИНА I «ПІДГОТОВЧІ ПРОЦЕСИ»

Розділ 1. Машини і технології дроблення і подрібнення корисних копалин	26
1.1. Характеристика процесів дроблення і подрібнення	26
1.2. Дробарки	30
1.2.1. Щоківі дробарки	30
1.2.2. Конусні дробарки	37
1.2.3. Валкові дробарки	50
1.2.4. Дробарки ударної дії	57
1.2.5. Дробарки барабанні	71
1.2.6. Експлуатація дробарок	73
1.3. Млини	77
1.3.1. Барабанні млини	77
1.3.2. Млини самоподрібнення	88
1.3.3. Нетрадиційні конструкції подрібнювальних машин	94
1.3.4. Показники роботи барабанних млинів	104
1.3.5. Експлуатація барабанних млинів	111

Розділ 2. Машини і апарати для класифікації корисних копалин за крупністю і промивки	113
2.1. Машини для розсіву корисних копалин	113
2.1.1. Загальні відомості про процес грохочення.....	113
2.1.2. Грохоти	114
2.1.3. технологічні показники процесу грохочення.....	132
2.1.4. Експлуатація грохотів	140
2.2. Машини і апарати для гідравлічної класифікації корисних копалин	141
2.2.1. Характеристика процесу гідравлічної класифікації	141
2.2.2. Класифікатори	142
2.3. Машини і апарати для промивки корисних копалин	156
2.3.1. Характеристика процесу промивки	156
2.3.2. Промивні машини і пристрої	157
2.3.3. Технологічні показники промивки	170

Розділ 3. Спеціальні способи та засоби підготовки корисних копалин до розділення мінеральної сировини	173
3.1. Підготовка руд до магнітної сепарації.....	173

3.2. Підготовка матеріалу до електричної сепарації.....	175
3.3. Підготовка пульпи до флотації.....	176
3.4. Підготовка мінеральної сировини до сортування.....	179

ЧАСТИНА II. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 4. Машина для гравітаційного збагачення корисних копалин ..	181
4.1. Характеристика гравітаційних процесів збагачення	181
4.2. Машина і апарати для збагачення у важких суспензіях	182
4.2.1. Важкосередовищні сепаратори	183
4.2.2. Важкосередовищні циклони	190
4.2.3. Технологія збагачення у важких суспензіях	195
4.3. Відсаджувальні машини	197
4.3.1. Повітряно-пульсаційні відсаджувальні машини.....	199
4.3.2. Діафрагмові відсаджувальні машини	208
4.3.3. Основні параметри відсадки	210
4.4. Шлюзи	218
4.4.1. Конструкції шлюзів.....	219
4.4.2. Технологічні і конструктивні параметри шлюзів	226
4.5. Струминні жолоби	230
4.5.1. Конструкції струминних апаратів	231
4.5.2. Технологічні і конструктивні параметри струминних жолобів	235
4.6. Концентраційні столи.....	237
4.6.1. Конструкції концентраційних столів	240
4.6.2. Технологічні і конструктивні параметри концентраційних столів.....	247
4.7. Гвинтові апарати	251
4.7.1. Конструкції гвинтових апаратів	253
4.7.2. Конструктивні і технологічні параметри гвинтових апаратів	256
4.8. Протитечієві апарати	259
4.8.1. Крутопохилі сепаратори	260
4.8.2. Шнекові сепаратори	262
4.9. Машина для збагачення в повітряному середовищі	265
4.9.1. Пневматичні сепаратори	266
4.9.2. Пневматичні відсаджувальні машини	268
4.9.3. Аеросуспензійні сепаратори	270
4.9.4. Технологічні і конструктивні	272
 Розділ 5. Машина і пристрій для флотаційного збагачення корисних копалин.....	 275
5.1. Характеристика процесу флотації	275
5.2. Флотаційні машини	276

5.2.1. Механічні флотаційні машини	278
5.2.2. Пневмомеханічні флотаційні машини	286
5.2.3. Пневмогідролічні флотаційні машини	291
5.2.4. Пневматичні флотаційні машини.....	294
5.2.5. Вибір флотаційних машин.....	301
5.3. Допоміжне обладнання	303
5.3.1. Пристрої для перемішування і кондиціонування пульпи	304
5.3.2. Живильники й дозатори флотаційних реагентів	306
5.3.3. Піногасники	312
Розділ 6. Машини для магнітного збагачення корисних копалин	315
6.1. Характеристика процесу магнітного збагачення	315
6.2. Обладнання для магнітного збагачення.....	317
6.2.1. Магнітні сепаратори.....	317
6.2.2. Допоміжні апарати при магнітному збагаченні.....	328
6.3. Підготовка руд до магнітної сепарації	329
6.4. Фактори, що впливають на процес магнітної сепарації	331
Розділ 7. Машини для електричного збагачення корисних копалин	335
7.1. Характеристика процесу електричного збагачення.....	335
7.2. Електричні сепаратори	337
7.3 Підготовка матеріалу до електричної сепарації	346
7.4 Фактори, що впливають на процес електричної сепарації.....	348
Розділ 8. Апарати для спеціальних методів збагачення корисних копалин.....	352
8.1. Характеристика спеціальних методів збагачення	352
8.2. Апарати радіометричного збагачення	353
8.3. Апарати збагачення за пружністю	362
8.4. Апарати збагачення за тертям і формою	364
8.5. Апарати комбінованого збагачення за тертям, пружністю і контактною міцністю.....	367
8.6. Апарати для спеціального дроблення і подрібнення корисних копалин.....	369
8.6.1. Машини вибіркового дроблення і подрібнення.....	369
8.6.2. Пристрій для руйнування стисненим середовищем.....	375
8.6.3. Пристрій для електрогідролічного руйнування	377
8.7. Адгезійне збагачення корисних копалин.....	379
8.7.1. Адгезійне збагачення золота на гранулах-носіях	379
8.7.2. Жирові столи.....	382

ЧАСТИНА ІІІ. ЗАКЛЮЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 9	Машини та апарати для зневоднення	384
9.1.	Загальні відомості про процеси зневоднення корисних копалин	384
9.1.1.	Види вологи і показники, що характеризують продукти зневоднення	384
9.2.	Дренування	390
9.2.1.	Характеристика процесу	390
9.2.2.	Дренажні склади	392
9.2.3.	Дренажні бункери	393
9.2.4.	Зневоднювальні елеватори	395
9.2.5.	Зневоднення на грохотах	398
9.3.	Апарати для згущення пульп	401
9.3.1.	Згущувач з центральним приводом	405
9.3.2.	Двоярусний згущувач з центральним приводом	408
9.3.3.	Згущувач з периферійним приводом	409
9.3.4.	Високопродуктивні згущувачі	411
9.3.5.	Циліндроконічний згущувач	413
9.3.6.	Згущувач з осадоушільнювачем	415
9.3.7.	Радіальні згущувачі з ґрунтовим днищем	416
9.3.8.	Згущувач з сифонним розвантаженням осаду	417
9.3.9.	Магнітний дешламатор	420
9.3.10.	Гідроциклони	421
9.3.11.	Згущувальні конуси (згущувальні воронки)	427
9.3.12.	Пірамідальні відстійники	428
9.3.13.	Згущувач з похилими пластинами	429
9.4.	Апарати для фільтрування	432
9.4.1.	Дисковий вакуум-фільтр	437
9.4.2.	Дисковий вакуум-фільтр з керамічними пластинами CERAMEC	440
9.4.3.	Барабанний вакуум-фільтр із зовнішньою фільтруючою поверхнею	443
9.4.4.	Барабанний вакуум-фільтр з внутрішньою фільтруючою поверхнею	446
9.4.5.	Стрічковий вакуум-фільтр	448
9.4.6.	Тарілчастий фільтр (план – фільтр)	450
9.4.7.	Допоміжне обладнання для вакуум-фільтрів	451
9.4.8.	Фільтрувальні тканини	457
9.4.9.	Схеми вакуумних фільтрувальних установок	460
9.4.10.	Фільтр-преси	467
9.4.11.	Гіпербарфільтр	477

9.5. Апарати для зневоднення під дією відцентрованих сил	478
9.5.1. Фільтруючі вертикальні центрифуги з інерційним розвантаженням осаду	479
9.5.2. Фільтруючі центрифуги з вібраційним розвантаженням осаду	480
9.5.3. Центрифуга з вібраційно-пульсуючим розвантаженням осаду	481
9.5.4. Фільтруючі центрифуги зі шнековим розвантаженням осаду	482
9.5.5. Горизонтальна фільтруюча центрифуга з поршнеvim вивантаженням осаду	483
9.5.6. Осаджувальна центрифуга.....	485
Розділ 10. Апарати для сушіння матеріалу	488
10.1. Газові барабанні сушарки	491
10.2. Газові труби – сушарки	496
10.3. Сушіння газами у киплячому шарі матеріалу	500
10.4. Парові трубчаті сушарки.....	503
10.5. Спеціальні апарати для сушки	507
10.6. Топки.....	513
Розділ 11. Сухе знепилення і пиловловлення	517
11.1. Відцентрований знепилювач	519
11.2. Вібраційний знепилювач.....	521
11.3. Пиловловлювальна камера.....	522
11.4. Інерційні жалюзійні пиловловлювачі	523
11.5. Циклони	523
Розділ 12. Мокрі апарати для уловлювання пилу	527
12.1. Відцентровий зрошуваний скруббер.....	527
12.2. Швидкісні пиловловлювачі.....	528
12.3. Барботажні і пінні пиловловлювачі	529
Розділ 13. Пиловловлення фільтруванням	533
13.1. Тканинні рукавні фільтри	533
13.2. Зернисті фільтри	535
13.3. Рулонні фільтри	538
13.4. Електрофільтри	539
Розділ 14. Грудкування вугілля і рудних матеріалів	544
14.1. Брикетування.....	544
14.2. Обкочування.....	550
14.3. Агломерація рудних матеріалів.....	553

Розділ 15. Водопостачання збагачувальних фабрик	558
Розділ 16. Хвостове господарство збагачувальних фабрик	568
16.1. Транспортування й укладання дрібних мокрих відходів	568
16.2. Схеми укладання відходів і оборотного водопостачання	571
16.3. Насоси	574
Розділ 17. Хімічні, фізико-хімічні та біохімічні методи очищення стічних вод	583
17.1. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод	583
17.2. Природне очищення стічних вод.....	585
17.3. Хімічні методи очищення стічних вод.....	586
17.4. Йонообмінний метод очищення стічних вод	591
17.5. Електрохімічний метод очищення стічних вод.....	594
17.6. Екстракційне очищення стічних вод.....	595
17.7. Адсорбційне очищення стічних вод.....	596
17.8. Флотаційне очищення стічних вод.....	599
17.9. Біохімічне очищення стічних вод.....	601
17.10. Рекультивация земель, зайнятих відходами збагачення.....	608
Додатки.....	609
Додаток А. Методика розрахунку схеми дроблення	609
Додаток В. Методика розрахунку схеми подрібнення.....	621
Список рекомендованої літератури.....	631

ВСТУП

Процеси переробки корисних копалин відомі людині декілька тисяч років. Ретроспективний аналіз гірництва дозволяє відзначити такі основні віхи його розвитку:

- 7 тис. р. до н.е. і раніше – добування нерудної сировини,
- 7-5 тис. до н.е. – початок видобутку кольорових металів – міді, золота, олова, стибію,
- IX-XVIII ст. до н.е. – початок видобутку руд заліза,
- антична доба і середні віки – початок розробки покладів вугілля та нафти,
- у XX ст. – початок розробки радіоактивних мінералів.

Якщо брати технології видобутку, то найдавніші – відкритим та шахтним способом, з I тис. до н.е. з'являється свердловинна гірнична технологія, а з 50-х рр. XX ст. – розробка родовищ на морському і океанічному дні.

Що стосується механізації гірничих робіт, то перші машини та механізми з'являються тільки в античний час, у XVI-XVII ст. вони суттєво вдосконалюються, а в XVIII-XIX ст. обладнуються автономним приводом. З другої половини XX ст. починається період комплексної механізації, а в останні десятиліття – автоматизації та комп'ютеризації гірничої галузі. Зокрема, активно розвивається моделювання технологічних процесів, машин і механізмів, що використовуються у збагаченні корисних копалин.

В кінці XX ст. щорічно з надр Землі видобувалося близько 120 млрд т гірничої маси і близько 25 млрд т корисних копалин. Але у ретроспективі, гірнича справа по-справжньому почала розвиватися в період рабовласницького ладу. В цей час у сферу видобування і переробки мінеральної сировини залучаються родовища мідних та олов'яних руд, свинцю, золота, срібла, стибію, а також асфальт та будівельні матеріали. З розвитком феодальних відносин відбулися значні позитивні зрушення в розвитку гірничої справи Європи, Закавказзя, Середньої Азії. Високого рівня гірнича справа досягла в середні віки в Центральній Європі (Чехія, Саксонія, Франція). Саме в цей час з'являється перший фундаментальний твір з гірництва – "Про гірничу справу і металургію" («De Re Metallica») Георгія Аґріколи (1494-1555, справжнє ім'я – Георг Бауер) в дванадцяти книгах, восьмий розділ якого присвячений збагаченню корисних копалин. Це – перша енциклопедія гірничої справи і металургії, яка підвела підсумок всьому досвіду людства по видобуванню руди та плавці металів аж до XVI ст. Праця Г.Аґріколи протягом двох віків була основним посібником для всіх рудокопів.

На території України використання кременя, кварциту і інших корисних копалин починається в палеоліті (300-100 тис. років тому). Знаряддя й інші вироби з кременю виготовляли аж до епохи пізньої бронзи (кінець 2-го тис. до н. е.). В епоху мезоліту (9-6 тис. до н.е.) і неоліту (5-3 тис. до н.е.) нарівні з широким використанням кременевих знарядь застосовують сланець, що піддається обробці, лавові породи типу граніт-порфіру, андезиту, а також тверді породи каменю – різні сорти пісковика. З 6-5-го тис. до н.е. для виготовлення керамічного посуду широко використовується глина. Видобуток її набуває великих масштабів в кінці 5-го – початку 4-го тис. до н.е. – з формуванням трипільської культури мідної доби на правобережжі Дніпра і в Західній Україні. Глина використовувалася також як будівельний матеріал для будинків. У часи трипільської культури розроблялися пластові родовища кременю у верхів'ях р. Дністер і на Волині. Археологічні реконструкції показали, що для виїмки пластових покладів кременю, що оголюються в ярах і балках, проводилися горизонтальні виробки, а для видобутку конкрецій – вертикальні виробки у вигляді котлованів або стовбурів шахтного типу. Тоді ж з'являються перші мідні знаряддя. Метал для виготовлення знарядь доставляли з гірничо-металургійних центрів Балкано-Карпат та Південно-Західного Причорномор'я. У пізній бронзі (середина 2-го тис. – початок 1-го тис. до н.е.) широко експлуатуються поверхневі виходи міді на території Донбасу (Картамишський комплекс). Залізо починає входити в побут з кінця 2-го тис. до н.е., однак масове виготовлення знарядь спостерігається з початку 1-го тис. до н.е. з формуванням тут культури древніх скіфів.

У період розквіту культури першої української держави – Київської Русі (X-XI ст.) – великого розвитку досягли ковальський, ливарний, ювелірний промисли і інші ремесла. Широко використовуються як залізні, так і сталеві вироби. Залізо отримували в сиродувних горнах, куди під час плавки за допомогою ручних міхів нагнітали непрогріте повітря. Руда – болотний і луговий залізняк, розробка якого велася поверхневим способом за допомогою лопат і кирок. Болотну руду, з вмістом Fe 18-40%, промивали, сушили, випалювали, подрібнювали і просівали. Паливом служило деревне вугілля. Застосовувалися технології вільного кування, ковальського зварювання, цементації, термічної обробки. Загальний прогрес у всіх сферах господарства і розвиток військової справи зумовили підвищений попит на металеві руди, сіль, земляні фарби, будівельний камінь і інші види мінеральної сировини.

Однак подальшому розвитку гірничої справи на території нашої країни перешкодило монголо-татарське нашествя (XIII-XIV ст.).

В XIV ст., особливо з його другої половини, в Україні-Русі відбувається відродження господарського комплексу (в т.ч. гірничо-металургійних ремесел) в складі Галицько-Волинського князівства (королівства), Великого князівства Литовського і подальший розвиток – в Речі Посполитій.

З XVI ст. в Дніпровському басейні починається видобуток бурого вугілля відкритим способом.

З XVI ст. місцевому населенню відомі цілющі властивості мінеральних вод Карпат і Закарпаття.

Перші соляні заводи в районі Тора (Слов'янська) побудовані в 1650 р. З XVIII ст. використовуються соляні джерела. На Донбасі в кінці XVII ст. місцеві жителі (на 63-70% – поселення запорожців¹) копали кам'яне вугілля і опалювали «горючим каменем» свої печі. При цьому була освоєна непроста система опалювання – відведення газу, прибирання шлаку і т.д.

У XVII ст.. – на поч. XVIII ст. у Києво-Могилянській академії викладають елементи гірничої науки, мінералогії (Інокентій Гізель, Феофан Прокопович та ін.). У 1711 р. на Галичині почався колодязний видобуток нафти.

З утворенням у 1719 р. т. зв. “Берг-Колегії” повсюдно активізується пошук руд і мінералів. У 1721 р. Керуючий Бахмутськими соляними промислами «ландрат» М.Вепрейський і козацький очільник комендант Бахмутської фортеці С.Чирков на місці кустарних розробок поблизу старообрядного скиту на р. Біленькій (нині с. Городище Перевальського р-ну Луганської області), а також в балці Скелеватій на березі р. Лугань беруть зразки кам'яного вугілля і відправляють їх «на пробу» в “Берг-Колегію”. У 1723 р. в районі с. Городище розпочинається перша промислова розробка вугільного пласта. Прибула на місце робіт вугільна експедиція під керівництвом Я.Ніксона констатує, що «тут можна добрий вугільний завод завести». Вугілля починають використовувати на місцевих соляних заводах і в кузнях². І все ж початком індустріального Донбасу слід вважати розробку вугільних родовищ поблизу Лисичого Байраку під м. Лисичанськ (1790 р.) і будівництво Луганського гірничого (ливарного) заводу (1795-1807 рр.). Створення гірничо-металургійної бази

¹ Пірко В.О. Заселення і господарське освоєння Степової України в XVI–XVIII ст. – Донецьк, 2004.- 223 с.

² Весія про відкриття вугілля на Донбасі Г.Капустініним, як показують документи «Берг Колегії» нечинна (див. 1. Гайко Г.І., Білецький В.С. Історія гірництва: Підручник. - Київ-Алчевськ: Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", видавництво "ЛАДО" ДонДТУ, 2013. - 542 с. 2.В. И. Подов. Открытие Донбасса. (Исторический очерк. Документы.) – Рубежное: Рубеж. гор. типография. 1992. 120 с. 3. «Записка „угольного мастера“ Г. Никсона о качестве каменного угля, присланного из Бахмутского соляного правления», ЦДАДА, ф. Берг-колегії, спр. 629, арк. 191. 4. «Отписка Бахмутского соляного правления в Камор-коллегию о копке угля на найденном месторождении и о варении соли на вновь изысканных соляных водах», ЦДАДА, ф. Берг-колегії, спр. 629, арк. 187–188.

в регіоні пов'язане з іменами талановитих гірничих інженерів М.Ф.Соймонова і К.Гаскойна.

У XVIII ст. у зв'язку зі спорудженням соляних заводів збільшилася потреба в металі. Залізняк був виявлений у районі р. Ведмедиця, де в 1742-43 рр. побудований завод для виплавки заліза. Залізняк був виявлений у 1742-1743 рр. вздовж Сіверського Дінця і його приток Кременної, Лугані, Біленької, однак дослідні плавки показали низьку якість металу.

У 2-й половині XVIII ст. відкрите родовище залізних руд у Криворізькому залізорудному басейні.

У 1778 р. почався видобуток солотвинської кам'яної солі.

З кінця XVIII ст. на території сучасної Київської, Чернігівської і Полтавської областей розробляються родовища торфу.

У кінці XVIII – на початку XIX ст. видобувають озокерит на Бориславському родовищі.

У XIX ст. починається швидке промислове освоєння України, що, в свою чергу, позитивно впливає на розвиток гірництва. З 1826 р. ведеться видобуток калійних солей у Передкарпатті, з 1836-го експлуатується Берегівське родовище свинцево-цинкових руд (м. Трускавець). У 50-і рр. XIX ст. почався промисловий видобуток і переробка нафти в Західній Україні (кустарно нафту добували з XII-XIII ст.).

До 70-х рр. XIX ст. належить становлення вітчизняної газової промисловості. Перші газові заводи, побудовані в містах Київ, Харків, Одеса, у 1880-90 рр. виробляли з кам'яного вугілля штучний газ, що використовувався в основному для освітлення вулиць.

У 1867 р. на Калушському соляному промислі почався видобуток калійних солей.

У 1868 р. відновлено видобуток бурого вугілля в Дніпровському басейні, відомому ще з XVI ст.

У 1879 р. відкрите промислове ртутне зруденіння на Донбасі.

У 1881 р. почався промисловий видобуток залізних руд у районі Кривого Рогу, нафти на Бориславському родовищі.

У 1883 р. виявлені марганцеві руди в Нікопольському басейні.

З 1886 р. розробляються Микитівське ртутне і Нікопольське марганцеве родовища.

У 1894-95 рр. почалася експлуатація Керченського залізорудного родовища.

У XIX ст. ведеться активне освоєння родовищ мінеральних вод, сірчаних джерел в Західній Україні і лікувальних грязей у Криму.

З кінця XVIII – на початку XIX ст. удосконалюється техніка буріння, вводиться рейкова відкатка з кінною тягою, створюються врубові машини для видобутку вугілля (перша перевірена у 1875 р. на Донбасі).

У 10-х рр. XX ст. у Передкарпатті відкриті газові родовища (Дашавське і ін.), промислова експлуатація почалася тільки в 1924 р.

У ці ж роки на Сакських соляних промислах побудований завод з виробництва брому з ропи.

На початку XX ст. Україна постачала основну кількість чавуну, що виплавлявся в царській Росії (53,1%).

У 1913 р. в Росії було видобуто близько 29 млн. т вугілля, з них 25 млн т – в Україні, на Донбасі.

В Києво-Могилянській академії вже в 1705-1709 рр. Вивчалися основи наук про корисні копалини. У книзі ректора академії Феофана Прокоповича (1681-1736 рр.) “Про досконалі змішані неживі тіла – метали, камені та інші” розглядалися три проблеми щодо корисних копалин: “матерія і форма, діюча причина і місце їх виникнення”. Чи не вперше було сказано про причини професійних захворювань гірників: “Більшість хвороб, з якими стикаються шахтарі й металурги, походять від сірки й ртуті”. Докладно були розглянуті камені і геми (дорогоцінні камені). Причому опрацьована розгалужена їх класифікація. Виділялися камені пористі і густі, прозорі й темні, геми і перли. Описано десятки найвідоміших мінералів, будівельних, дорогоцінних та напівдорогоцінних, специфічних: пемза, мрамур, сапфір, гіацинт, сардій, гранат, смарагд, адамант, карбункул, рубін, аметист, опал, топаз, берил, кришталь, яшма та ін.

На кінець XVIII століття було накопичено достатній вітчизняний досвід розвідки і розробки вугілля викопного. Однак розміри його видобування у XVIII столітті були ще незначні, і лише під кінець століття в зв'язку з будівництвом Луганського чавуноливарного заводу воно зросло. На останньому, за деякими даними, працювала одна з перших в Україні гірничих шкіл. Але ж по-справжньому розвиток вугільної промисловості в Україні почався після скасування кріпацтва і на початку розвитку капіталізму під кінець XIX століття. В цей час почав активно розвиватися Криворізький рудний басейн, де будувалися рудні кар'єри та шахти.

Активний розвиток української гірничої науки і освіти починається з XIX ст. У 1806 р. в м. Лисичанськ відкрита Штейгерська школа – історично перший в Україні спеціалізований гірничий навчальний заклад (гірниче училище). Біля її витоків Штейгерської школи стояли сподвижники К. Гаскойна. Училище користувалося великим авторитетом і повагою у гірників і проіснувало близько півстоліття. Після деякої перерви Гірничий департамент Російської імперії прийняв рішення у 1872 р. знову відкрити у Лисичанську відомий навчальний заклад. До

1917 р. Школа підготувала близько 700 штейгерів, які очолювали на різних рівнях гірничовидобувні підприємства Донбасу, здійснювали інженерне керівництво.

У 1899 р. засновано Катеринославське вище гірниче училище (інститут з 1912 року, до 2018 р. Національний гірничий університет України, нині «Дніпровська політехніка»). Університет має повний цикл гірничо-геологічних спеціальностей, близько 600 викладачів, серед яких більше 100 докторів наук та професорів, 350 кандидатів наук, доцентів, 27 членів НАН України та галузевих академій (1999). За 100 років існування підготовлено більше 56 тис. фахівців.

У 1927 р. засновано Макіївський державний науково-дослідний інститут по безпеці робіт у гірничій промисловості (МакНДІ) – на базі Центральної Макіївської гірничорятувальної і науково-дослідної станції, заснованої у 1907 р.

Український вуглехімічний інститут (УВХІН) – засновано 1930 року в Харкові.

Український державний науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки та маркшейдерської справи НАН України веде свою історію від 1929 р.

Український державний інститут мінеральних ресурсів (УкрДІМР) – засновано в 1959 р.

Науково-дослідний інститут гірничої механіки ім. М.М.Федорова (“НДІГМ ім. М.М. Федорова”) – засновано у 1934 році.

УкрНДІвуглезбагачення засновано в кінці 1950-х років в Луганську.

В Україні протягом останнього сторіччя утворилося ряд наукових шкіл у галузі збагачення корисних копалин. Центрами розвитку цієї науки стали м. Дніпро (Національний гірничий університет), Кривий Ріг (Криворізький державний технічний університет), Донецьк (Донецький національний технічний університет), Луганськ (УкрНДІвуглезбагачення), Сімферополь (Інститут мінеральних ресурсів).

Станом на 2014 р. в Україні працювало понад 150 фабрик зі збагачення вугілля, залізних, марганцевих, рідкіснометалічних, золотовмісних та інших руд корисних копалин.

Займаючи площу в 0.4% від світової суші, Україна в кінці 80-х – на початку 90-х років ХХ ст. виробляла до 5% корисних копалин від загальносвітового видобутку. З розвідкою, видобутком, переробкою і використанням мінеральної сировини в тій або іншій мірі було пов'язано близько 48% виробничих фондів і 20% трудових ресурсів. Мінерально-сировинний комплекс (МСК) забезпечував 23-25% валового національного продукту.

Збагачення корисних копалин спершу виникло як необхідний етап одержання кінцевого продукту, зокрема як елемент вервечки: «видобування – збагачення – витоплення металу (міді, золота, срібла, їхніх сплавів)». Тому у давніх описах гірничих технологій збагачення мінеральної сировини стоїть поряд з власне гірничими роботами і металургією, точніше в проміжку між цими процесами. Описи окремих процесів, операцій, які ми сьогодні відносимо до галузі збагачення в добу античності ми зустрічаємо у давньогрецького історика Полібія (201–120 до Р. Х.) – автора «Загальної історії» («Історії») в 40 томах, у 37-томній «Природничій історії» римського історика Гая Плінія Секунда (23(24) – 79 рр. по Р. Х.), у «Географії» давньогрецького географа та історика Страбона (64 до Р. Х. – 24 по Р. Х.), творах давньоримського історика Аппіана (кінець 1 ст. – 70-ті роки II ст.) та інших.

Пліній описує вже на той час традиційний спосіб збагачення розсипного золота – шляхом його водної промивки (панорамування) у ємкостях, який у механізованому варіанті з успіхом застосовується до сьогодні: «сиру руду поміщають в чан з водою, а потім перемішують вручну. Великі шматки ґрунту з відходами або порода видаляється, води, що містить дрібні часточки відходів виливаються, в результаті чого важкі руди випадають на дно чана». Але це, зауважує автор, тільки один зі способів добування металів. Тут же Пліній згадує процес збагачення золота ртуттю (амальгамування) і говорить про його шкідливість для людей, крім того відзначає, що пари срібних рудників теж небезпечні (Пліній XXXIII.98). Порівнюючи різні технології добування золота він зауважує, що "Мабуть, найбільш складний спосіб видобутку розсипного золота був розроблений римлянами. Процес, відомий як «розмив» (у англ. перекладі «*hushing*»). Для гідророзкриття родовища на певній висотній відмітці накопичувався досить великий запас води, яку потім штучними канавами спрямовувалася у область похованого розсипу чи корінного родовища. Після гідророзкриття, під час якого відбувалася також промивка (попереднє збагачення) для вилучення окремих мінералів застосовували традиційні методи.

У творах ряду античних авторів – «Географії» Страбона (64 до Р. Х. – 24 по Р. Х.), «Природничій історії» Гая Плінія, творах Аппіана (кінець 1 ст. – 70-ті роки II ст.) та інших описано спосіб адгезійного збагачення золота – на обмаслених шкірах овець. Найбільш популярна версія цього опису – це загальновідома оповідь про легендарне «Золоте Руно» з Колхіди. Описується також застосування адгезійно-масляного способу збагачення розсипного золота у Малій Азії.

Видобуток золотоносного піску гірських рік методом вловлювання його у промасленій вовні баранячих шкур був відомий з II тис. до РХ і зберігся у Сванетії (Грузія) до початку XX ст. «Золотоносною Колхідою» називали ці місця Страбон та Пліній. Саме на пошуку «золотого руна» в Колхіді ґрунтується всесвітньо відомий міф про аргонавтів. Цікаво, що опис давньої технології вловлювання золота з гірських потоків за допомогою корит і шкур зустрічається у працях ряду авторів – Страбона, Плінія, грецького історика II ст. Аппіана, інших. Останній у своїй 12-й книзі про війни Мітрідату пише: *«Дрібні частинки золота несуть багато річок Кавказу, і місцеві жителі розстелюють баранячі шкури глибоко по дну річки, збирають на них золотий пісок. Такою і була золоторунна шкура Аета»*. Полібій, а за ним і Страбон описують технологію багатократної промивки срібної руди на рудниках Нового Карфагена: *«Цю руду дроблять і пропускають у воді через сита, потім осад знову подрібнюють і знову, проціджують і зливають воду, осад подрібнюють, потім п'ятий осад плавиться, а після відділення свинцю виходить чисте срібло»*.

Отже, в античну добу широко використовувались гравітаційні методи первинної переробки руд, зокрема їх промивка. Корисні копалини перед збагаченням подрібнювали, інколи використовували процеси декантації (навіть багатократно, тобто виконувалися перелічені операції). Безсумнівними досягненнями цієї доби було використання амальгамування та адгезійного процесу збагачення розсипного золота на ворсистих змащених поверхнях. По суті це перші відомі фізико-хімічні методи збагачення, застосовані людиною ще у давнину. Інше суттєве досягнення – гідравлічний розкрит (розмив) родовищ із попутним попереднім збагаченням руд – це найбільш масштабні відомі гірничі роботи, для виконання яких давні інженери готували спеціальні запаси води у водосховищах-озерах. Гірники цього часу виконували підготовчі, основні і заключні операції збагачення: дробили і просіювали мінеральну сировину перед процесами розділення, виконували розділення різнорідних мінералів за їх густиною і поверхневими властивостями, зневоднювали збагачений продукт – концентрат.

Разом з тим, у античний період ми ще не бачимо стрункої системи знань з гірництва, зокрема зі збагачення корисних копалин. Як правило, відсутні спеціалізовані пристрої для збагачення – майже всі операції виконуються підручними засобами, запозиченими з інших сфер діяльності. При цьому розвиток технологій суттєво випереджає розвиток техніки.

Г. Агрікола у восьмій книзі праці «De Re Metallica» виділяє такі основні операції, застосовувані у збагаченні: селективне виймання,

сортування, дроблення, подрібнення, грохочення, гравітаційні методи збагачення, промивання, амальгамування, а також підготовчі термічні методи (зокрема випалення), а також використання для збагачення корисних копалин рельєфу та природних потоків. Розглянемо стан розробленості цих технологічних процесів і операцій збагачення у середні віки.

Чи не вперше у гірництві Г. Агрікола описує селективне виймання рудокопами рудного матеріалу при розробці рудних жил: «цінну руду вони відкладають у рудопромивні корита, а малоцінну кидають [окремо] в бадді». Якщо ж цього рудокоп не зробив на етапі виймання, то треба це зробити пізніше: «викопану руду треба уважно оглянути і відокремити частину, багату металом, від частини, яка не має металу» (зараз цю операцію попереднього збагачення називають «рудовибірка» або «сортування»). Г. Агрікола так описує конструкцію рудорозбірного столу: *«Найчастіше рудорозбірні столи виготовлені з щільно підігнаних дощок довжиною 4 фути, така ж і ширина стола; до трьох сторін столу припасовані борти висотою 1 фут, передній же край, де знаходиться розбірник руди, відкритий»*. Для дроблення великих шматків «рудорозбірники кладуть на кожний рудорозбірний стіл твердий і широкий камінь». Для рудовибірки на копальнях часто залучали не тільки чоловіків, але жінок і дітей, які «проводять цілі дні за рудорозбірним столом».

Великі шматки руди розколювали молотами, дробили і товкли, після чого вибирали багаті металом грудки, а пусту породу відкидали. Самородне срібло рудорозбірники сплющували, розрізали залізними зубилами або ножицями на шматки і направляли на плавлення. Для захисту від пошкоджень професійні рудорозбірники XVI ст. використовували захисні рукавиці та «наніжники», виготовлені з деревної кори.

Інколи перед рудорозбіркою руду піддавали термообробці (випалювали), що, по-перше, зменшувало її міцність, покращувало дробимість і, по-друге, дозволяло видалити (випалити) ряд шкідливих домішок – сірку, бітум, аурипігмент, реальгар тощо. При цьому вже у середньовіччі були вироблені різноманітні способи випалення конусоподібних куп руди на відкритому майданчику і у спеціальних печах; з добавками купоросу, колчедану, з попереднім змочуванням водою; у одну (дві, три) стадії. Інколи до випалювання видобутої руди її витримували в купах на відкритому повітрі – сонце, вітер, дощі, температурні коливання дещо розпушували рудний матеріал. Подрібненню основної маси руд передував процес грохочення. Для виконання цієї операції використовували «короткий ящик» з мідною сіткою замість дна, який підв'язували до крюка на стовпі або гілки дерева.

Робітник багаторазово притягував ящик заповнений рудою до себе і відпускав його, вдаряючи об стовп чи дерево. При цих струсах матеріал просіювався. Підрешітний продукт першого ящика (грохота) направляли у подібний «короткий ящик» але з меншими отворами сита, після чого ті ж операції повторювали (інколи змінюючи сита кілька разів). Для виділення найменших («пилеподібних») класів крупності застосовували мокре просіювання – шляхом прополіскування в діжці з водою.

Поверхнями просівання в таких грохотах були дротяні мідні та залізні сита, які підтримувалися прутами. Барабан сита – дерев'яний, виконаний у формі циліндру, скріпленій залізними ободами. Чеські гірники для просіювання дрібнодисперсного матеріалу використовували також плетені кошики, які розгойдували і трясли у бадді чи діжці.

Дробленню піддавали окремі валуни й крупні класи руди (діаметром з горіх і більше), виділені при сортуванні, або шляхом просіювання (грохочення). Основні ручні знаряддя для подрібнення руд – залізні кувадла й бияки на довгих держаках. Про них Г.Аґрікола зазначав: *«Широким боком цього залізного знаряддя робочі товчуть руду так само, як молотять зерно на току гладенькими дерев'яними ціпами, навішеними на ціповища»*.

Для механізації дробильного процесу надрешітний продукт піддавали дробленню ударним способом у дробарці, яку іноді називали «товчильний ящик». По суті вся його конструкція була підпорядкована одній меті – механізації процесу товчіння крупного матеріалу на міцній підкладці (дубовій колоді, камені або залізній плиті) спеціальними товкачами із залізними наконечниками. Пристрій, зазвичай мав до десятка товкачів із залізними наконечниками і прямокутну робочу зону дроблення (з дубових колод, каменя або залізної плити). У Східних Альпах і Карпатах дробарки мали до 20 товкачів уряд і видовжену робочу зону дроблення. Товкачам надавали зворотно-поступального руху у вертикальній площині за допомогою обертів коловороту. Приводом, як правило, слугував водяний потік, але іноді використовували й працю людини. Зрозуміло, що вся схема працювала у періодичному режимі разом з грохотом: спершу дробарку завантажували крупними грудками руди, потім приводили до руху товкачі, після певного часу їх зупиняли, вивантажували подрібнену руду, просіювали її на ситі, завантажували нову порцію крупного класу руди разом з надрешітним матеріалом.

Проривне рішення в технології подрібнення порід застосував Йоганн фон Мальтітц (єпископ Мейссенський), який у 1512 році на саксонських руднях у Німеччині замість сухого застосував дроблення попередньо змоченого матеріалу (мокре дроблення), яке було більш ефективним. По суті емпірично (без розуміння фізичної природи явища)

чи не вперше під час збагачення корисних копалин було використано розклинюючий ефект, який чинить вода у порах і мікротріщинах, зменшуючи у такий спосіб міцність суцільного рудного матеріалу, що полегшує його руйнування. Сьогодні це явище відоме під назвою «ефект Ребіндера» і застосовується при подрібненні різних корисних копалин, зокрема під час приготування водовугільного висококонцентрованого палива.

Крім описаних вище товчильних дробарок для руд благородних металів застосовували також жорна водних млинів, які розтирали рудний матеріал у порошкоподібну масу. Інколи технологію подрібнення суміщали з операцією промивки, після чого метал з руди вилучали методом амальгамування. Його виконували в послідовно встановлених переливних ємностях (бочках), куди поміщали ртуть. Пульпа золоторудного борошна послідовно надходила у кожну бочку (з верхньої до нижньої), де перемішувалася з ртуттю. Частинки золота при контакті з ртуттю створювали золотортутню амальгаму (сплав ртуті з металом), пуста порода виокремлювалася. У подальшому ртуть випарювали зі сплаву й отримували золото.

Найбільшого ефекту збагачення досягали водною промивкою руд (гравітаційний метод). Г. Агрікола описує шість способів промивки металовмісних руд: *«у простому жолобі, у жолобі, який розгороджений дощечками, у великому баку, у короткому герді або планен-герді, похилому герді – шлемграбені, або на густому ситі»*. При цьому він називає ці способи «старими». У той же час застосовували і більш сучасні – модернізовані промивні машини, наприклад двоповерхові промивні жолоби, нижнє і верхнє відділення яких розділяло залізне сито (поєднання грохота і жолоба).

Гравітаційне збагачення виконували у жолобах (шлюзах) різних конструкцій, сучасним аналогом яких є *вайсгерд*. Техніка гравітаційного збагачення корисних копалин, зокрема золота, олова і інших металів розсипних родовищ з високою питомою вагою, а також гранатів у водних потоках, що течуть по похилій поверхні досягла в часи пізнього середньовіччя доволі високого рівня. Показником цього є залучення до збагачення найтонших класів – для їх уловлювання застосовували покриття дна промивних жолобів шкірами волів чи коней, сукном тощо (сьогоднішні аналоги – ворсисті шлюзи). Для підвищення ефективності збагачення у шлюзах мийник мав весь час перемішувати руду спеціальними гребками або струшувати жолоб. При цьому важкі часточки золота чи олова опускалися на дно і застрягали у ворсинах підстилки, а легші породні фракції вимивалися потоком води. Після накопичення

значної кількості важкої фракції у ворсяній підстилці процес припиняли і споліскували її в окремій посудині, вилучаючи цінний метал.

Процес промивки водою, який використовується і сьогодні, забезпечував відмивання від щільного матеріалу пухких глинистих та тонких піщаних фракцій, які вловлювались у фільтрах, а найтонші – у мулонакопичувачах. Цікаво, що нинішні шламовідстійники та мулонакопичувачі мали своїх аналогів-попередників у середньовіччі. Так, у Саксонській Швейцарії, на притоках Ельби у XVI ст. було влаштовано ряд ставків-відстійників для тонкодисперсної оловоносною руди і ці відстійники були частиною технологічного циклу промивочних рудень.

Г.Агрікола описує оригінальні способи гравітаційного збагачення (промивки) з використанням природних перепадів висот на шляхах водних потоків і невеликих річок (зокрема в горах). Суть технологічних рішень давніх гірників полягала у використанні снігових (льодовикових) або дощових вод для промивки корисних копалин. При цьому в ущелинах гір, на їхніх схилах влаштовувалися спеціальні штучні русла, канали, по яких спрямовувалися водні потоки. Після попереднього збагачення рудного матеріалу в таких природних умовах і сходження вод осад штучних русел (канал) видобувався і додатково збагачувався у промивних жолобах. Г.Агрікола вказує тут на досвід португальців, які ймовірно використовували окремі технології ще давньоримських арругій – гідровидобувних комплексів давніх римлян («римський спосіб розробки»), які поєднували гідравлічну, підземну та відкриту розробку родовищ з промивкою руди потужними водними потоками.

Цікавою є географія застосування техніки і технологій збагачення руд в давнину. Крім в основному європейського досвіду збагачення корисних копалин, який описує Г.Агрікола процеси збагачення руд були поширені на широкій євразійській ойкумені. Так, в районі Кані-Мансур – середньовічний рудник в районі Карамазару (Таджикистан) знайдено велику кількість знарядь праці гірників: залізні кайла й долота, кам'яні молоти (у формі усіченої піраміди), товкачі, платформи, жорна для збагачення руд. Згідно з письмовими джерелами в горах, біля м. Шельджи (Таласька долина, Киргизстан) і на південних схилах Киргизського хребта були копальні срібла. Тут знайдено близько 100 середньовічних гірничих виробок, що відкривали поклади поліметалічних руд. Видобута руда подрібнювалася і збагачувалася. Срібло вилучалося методом купеляції. Руду збагачували шляхом ручного подрібнення та водного промивання. Про це свідчать величезні відвали пустих порід і залишки давніх ариків, що підводили воду до місць водного збагачення. Повторне подрібнення проводили на жорнах гірничих млинів, рештки яких разом з численними жорнами дійшли до нашого часу. Привертають увагу технології

збагачення руд і витоплення благородних металів, які застосовували на рудниках Середньої Азії, зокрема у гірничо-металургійних селищах Ферганської долини. Здебільшого збагачення здійснювали безпосередньо поблизу гірничих виробок. На потужних руднях виокремлювали спеціальні рудорозбірні майданчики, іноді вони обслуговували декілька стовбурів і штолень. Спочатку руди подрібнювали кам'яними або залізними молотами, затим – товкачами й тертками в ступах і на платформах. На багатьох майданчиках знайдені жорна з грубозернистою поверхнею для розмелювання подрібнених руд. Застосовували також «мішджани» – камені, закріплені на товкачах. Ось як описує процеси збагачення Аль-Біруні: *«Золото іноді поєднане з камінням, ніби сплавлене з ним, тоді воно потребує розмелу, який проводять на млинових жорнах, хоча товчіння за допомогою мішджана вдатніше й краще забезпечує його якість»*.

Де можливо, використовували силу плинної води (водне збагачення), для чого підводили спеціальні арики; в інших випадках збагачувальні майданчики розміщували поряд із найближчими річками або струмками. Відділення пустої породи проводилось шляхом багаторазового промивання у великих тазоподібних посудинах. Частинки породи, що видалялися з них, зносилися течією струменя у потужні відвали, нашарування яких поблизу значних рудників сягають товщини 10 м і більше.

Для отримання золота широко застосовували спосіб амальгамації. *«Коли руда золота дроблена й змелена, – пише Аль-Біруні, – його (золото) відділяють промиванням від породи, а потім збирають за допомогою ртуті; після цього воно відтискається у клапті шкіри таким чином, що розчинене в ртуті золото виходить через пори шкіри, а потім ртуть видаляється випарюванням на вогні»*. Про розповсюдженість цього способу свідчать численні знахідки поблизу рудників і в ремісничих районах міст долини Ахангарана. Це насамперед сфероконічні посудини для ртуті, яку протягом кількох сторіч добували в давньому руднику Хайдаркан («Великий рудник») у Ферганській долині (на території сучасного Киргизстану).

В Україні до системи гірничо-металургійних центрів доби пізньої бронзи належить Картамиш – давня копальня міді на теренах Луганської області. Тут сучасними археологічними розкопками виявлено ряд артефактів, які свідчать про збагачення мідної руди. Технологія збагачення мала, ймовірно, такий вигляд. Шматки пісковика, що вміщували прошарки та гнізда суцільних сульфідів міді, доставляли на робочу ділянку, де їх подрібнювали за допомогою кам'яних молотів та розшаровували по поверхні розташування сульфідів міді. Потім

підготовлену руду подрібнювали кам'яними товкачами (пестиками) виготовленими із закременілих чи гранітоподібних жовен у спеціальних ступках. Отриманий таким чином рудний концентрат можна було використовувати для плавлення металу. Значна частина руд мала вкраплення сульфідів міді сферичної форми. Розмір вкраплень від 1–2 до 20 мм з переважанням дрібних фракцій. Збагачення таких руд потребує ретельного подрібнення порід для вивільнення сульфідів міді. Найбільш імовірний і легкодоступний спосіб їх відокремлення від пустих порід після подрібнення – водне гравітаційне збагачення. Гіпотезу водного збагачення підтверджують ознаки русла струменя поблизу збагачувальної ділянки, а також виявлений колодязь у межах виробничої споруди.

Підсумовуючи основні риси гірничих технологій давнини, зокрема, Середньовіччя зазначимо домінування ручної праці на всіх напрямках гірничих робіт, в тому числі і збагачення корисних копалин, і одночасний пошук можливостей застосування машин і пристроїв. У збагаченні корисних копалин – це біла, точильні дробарки, сита (грохоти), рудорозбірні сортувальні столи, жолоби для промивки руд, обмаслені поверхні тощо. Основні операції, застосовувані в Середньовіччі для збагачення руд: селективне виймання, сортування, дроблення, подрібнення, грохочення, гравітаційні методи збагачення, промивання, амальгамування, адгезійний метод збагачення, а також підготовчі термічні методи (зокрема випалення), використання для збагачення корисних копалин рельєфу та природних потоків.

ПЕРЕДМОВА

Теорія і практика збагачення корисних копалин активно розвивається, розробляються принципово нові і вдосконалюються відомі процеси, машини і механізми, що ініціює закономірний процес оновлення підручників і посібників у цій галузі.

У даному посібнику розглянуто підготовчі (Частина I), основні (Частина II) та заключні (Частина III) процеси, що застосовуються при збагаченні корисних копалин. Акцент зроблено саме на техніку і технологію переробки мінеральної сировини. Описані основні конструкції технологічного обладнання, його принцип дії і технологічні характеристики.

Виклад матеріалу ґрунтується на вітчизняному та закордонному досвіді в галузі збагачення корисних копалин, досягненнях наукових шкіл збагачення мінеральної сировини останніх років. Застосована сучасна вітчизняна терміносистема гірництва, опрацьована в ряді фундаментальних словникових та енциклопедичних праць початку ХХІ ст.

Посібник відповідає освітньо-професійній програмі Міністерства освіти та науки України для студентів, які вивчають гірничі дисципліни.

До **основних підготовчих процесів** відносять операції дроблення, подрібнення, спрямовані на розкриття і відкриття цінних компонентів та доведення матеріалу до крупності, необхідної в процесі збагачення. А також операції грохочення і класифікації, що застосовуються для розділення отриманої механічної суміші за класами крупності

Оскільки сировина, що надходить на збагачувальні фабрики, має грудки критичного розміру (для відкритих гірничих виробок 1200-1500 мм, для підземних 600-800 мм), процес дроблення і подрібнення проводять в декілька стадій. Технологічно грамотно процеси дроблення супроводжувати операціями грохочення, а процеси подрібнення операціями класифікації. При цьому дотримується так званий «принцип Чеччота» - «не дробити нічого зайвого», своєчасно виводити з процесу готовий по крупності клас, що виключає переподрібнення продукту, економить електроенергію та збільшує термін служби футерувальних плит дробарок і млинів. Між дробленням і подрібненням немає принципових відмінностей. Умовно вважають, що при дробленні одержують продукт з максимальним розміром зерен більше 5 мм, а при подрібненні – менше 5 мм.

Дроблення і подрібнення є підготовчими операціями збагачення і призначені для роз'єднання (розкриття) рудних зерен різних мінералів, що містяться в корисних копалинах у вигляді тісно переплетених зростків. Чим повніше розкриваються, звільняються один від іншого мінерали при дробленні і подрібненні, тим успішніше протікає подальший процес збагачення корисних копалин. Крупність зерен, до якої необхідно дробити або подрібнювати матеріал перед збагаченням, визначається розміром вкраплення цінних мінералів і процесом, що прийнятий для збагачення корисної копалини.

Дроблення – процес руйнування грудкової мінеральної сировини під дією зовнішніх механічних сил шляхом роздавлювання, розколювання, удару або їх поєднання, його здійснюють у спеціальних машинах – дробарках.

Подрібнення – процес зменшення розмірів зерен мінеральної сировини в результаті ударного і стираючого впливу зовнішніх механічних сил для розкриття зростків мінералів, його здійснюють у спеціальних машинах – млинах.

Грохоченням називають процес розділення сипучих матеріалів по крупності на поверхнях з каліброваними отворами.

Класифікацією називається процес розділення тонкорозмірних зернистих сумішей на вузькі фракції за швидкістю падіння у водному або повітряному середовищі.

У даній книзі описані основні конструкції технологічного обладнання, принцип дії і технологічні характеристики.

Процеси збагачення корисних копалин, метою яких є підвищення вмісту цінних компонентів у перероблюваній природній сировині відіграють все зростаючу роль у розвитку сучасної економіки. Це пов'язано, зокрема, з тим, що родовища багатих руд у багатьох випадках вже відпрацьовані і для підтримки виробничих потужностей підприємств на необхідному рівні доводиться залучати в експлуатацію бідні руди. Крім того, зростають вимоги до чистоти металів, вугілля, гірничо-хімічної та ін.. сировини, що, в свою чергу, обумовлює зростання вимог до відповідних концентратів при збагаченні корисних копалин. Підвищення вмісту корисних компонентів у концентраті є однією з основних задач при інтенсифікації технологічних процесів в гірничо-видобувній, хімічній, металургійній та інших галузях промисловості.

Основні процеси збагачення призначені для виділення з вихідної мінеральної сировини одного або декількох корисних компонентів. Вихідний матеріал в процесі збагачення розділяється на відповідні продукти – концентрат(и), промпродукти і відвальні хвости. У процесах збагачення використовують відмінності мінералів корисного компонента і пустої породи в густині, магнітній сприйнятливості, змочуваності, електропровідності, крупності, формі зерен, хімічних властивостях та ін.

Гравітаційні методи збагачення використовують відмінність в швидкості руху частинок у водному або повітряному середовищі під дією гравітаційних або відцентрових сил. До цих методів належать: відсадження, збагачення у важких суспензіях, концентрація на столах, збагачення на шлюзах. В основі флотаційного методу збагачення лежить різниця у фізико-хімічних властивостях поверхні мінералів. Якщо мінерали володіють різною магнітною сприйнятливістю, то їх розділяють магнітною сепарацією. При розходженні в електричних властивостях

(електрична провідність, діелектрична проникність, здатність заряджатися при терті) мінерали розділяють електричною сепарацією.

У книзі описано обладнання для гравітаційного і флотаційного збагачення, а також машини для магнітного, електричного і спеціальних методів збагачення.

Заключні операції в схемах переробки корисних копалин призначені, як правило, для зниження їхньої вологості до кондиційної, а також для регенерації оборотних вод збагачувальної фабрики. Основні технологічні процеси – згущення пульпи, зневоднення і сушка продуктів збагачення. Вибір методу зневоднення залежить від характеристики матеріалу, що зневоднюється (початкової вологості, гранулометричного і мінералогічного складів) та вимог до кінцевої вологості. Часто необхідної кондиційної вологості важко досягти за одну стадію, тому на практиці для деяких продуктів збагачення використовують операції зневоднення різними методами в декілька стадій.

Сьогодні для зневоднення продуктів збагачення використовують методи дренування (грохоти, елеватори), центрифугування (фільтруючі, відсаджувальні і комбіновані центрифуги), згущення (згущувачі, гідроциклони), фільтрування (вакуум-фільтри, фільтр-преси, гіпербар-фільтри) і термічного сушіння (барабанні сушарки, парові трубчаті сушарки). З метою підвищення ефективності зневоднення використовують флокулянти, коагулянти, реагенти-гідрофобізатори тощо.

Для знепилення повітря на збагачувальних фабриках застосовують різноманітні фільтри, а для грудкування – гранулятори, брикетні преси, екструдери тощо.

Сукупність машин, апаратів, споруд та транспортних і допоміжних засобів для вловлювання, згущення і зневоднення шламів та прояснення оборотної води, як правило, виділяють у окремий виробничий підрозділ (цех або відділення) збагачувальної фабрики – водно-шламове господарство. У книзі описані обладнання і технологія зазначених заключних процесів збагачення корисних копалин.

Таким чином, запропонований посібник є системною комплексною навчальною книгою, в якій викладено питання техніки і технології підготовчих, основних і заключних операцій збагачення корисних копалин.

ЧАСТИНА I «ПІДГОТОВЧІ ПРОЦЕСИ»

РОЗДІЛ 1. МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДРОБЛЕННЯ І ПОДРІБНЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

1.1. Характеристика процесів дроблення і подрібнення

Дроблення і подрібнення – процеси руйнування і зменшення розмірів грудок сировини під дією зовнішніх механічних, теплових, електричних сил, направлених на подолання внутрішніх сил зчеплення, що зв'язують між собою частинки твердого тіла. В практиці для дроблення і подрібнення корисних копалин застосовують переважно зовнішні механічні впливи. Машини, у яких здійснюються процеси дроблення і подрібнення, називаються відповідно *дробарками* і *млинами*.

Дроблення і подрібнення застосовують для доведення мінеральної сировини (та інших матеріалів) до необхідної крупності, гранулометричного складу або заданого ступеня розкриття (відкриття) мінералів.

Розкриття зростків – дроблення або подрібнення зростків для вивільнення зерен корисної копалини і розділення суміші на складові компоненти шляхом збагачення. Розкриття мінералів необхідне і достатнє для реалізації всіх методів збагачення окрім спеціальних хімічних та гідрометалургійних.

Відкриття (поверхні речовини) – при збагаченні корисних копалин – відкриття поверхні корисної компоненти – утворення в процесі дроблення і подрібнення зростків корисної компоненти з породою в яких корисна компонента частково має вільну поверхню. Таке відкриття золота та деяких інших металічних корисних компонентів достатнє для гідрометалургійного переділу сировини.

Залежно від крупності вихідного і дробленого (подрібненого) продуктів розрізняють три стадії дроблення і три стадії подрібнення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Стадії дроблення і подрібнення

Дроблення			Подрібнення			
Стадія	Крупність продуктів, мм		Стадія	Крупність продуктів		
	вихідного	дробленого		Розмір зерна (мм) у		Вміст класу – 0,074 мм у подрібненому, %
				вихідному	подрібненому	
Крупне дроблення	1200 – 500	350 - 100	Крупне подрібнення	20 - 40	до 5	50 - 60
Середнє дроблення	350 – 100	100 - 40	Середнє подрібнення	до 5	до 0,6	60 - 80
Дрібне дроблення	100 – 40	40 - 10	Тонке подрібнення	до 5	до 0,15	понад 85

Дроблення і подрібнення на збагачувальних фабриках використовують для роз'єднання тісно переплєтених і зрослих між собою зерен різних мінералів, що містяться в корисній копалині. Чим повніше відбувається розкриття зерен корисної копалини при дробленні і подрібненні, тим більш успішне його наступне збагачення. Крупність дроблення і подрібнення корисних копалин залежить від їхнього мінерального складу, вкраплення корисних мінералів, подальшого методу збагачення і характеру використання продуктів збагачення.

Кількісною характеристикою процесів дроблення і подрібнення служить *ступінь дроблення* або *подрібнення*, який показує у скільки разів зменшився розмір грудок (зерен) матеріалу при дробленні або подрібненні.

Ступенем дроблення (подрібнення) називається відношення розмірів зерна вихідного матеріалу до розмірів зерна дробленого (подрібненого) матеріалу.

Для визначення ступеня дроблення (подрібнення) запропоновано декілька розрахункових формул.

У промислових умовах для орієнтовного визначення ступеня дроблення (подрібнення) широко використовують формулу із застосуванням максимальних розмірів зерен вихідного і дробленого матеріалів:

$$i = D_{\max} / d_{\max}, \quad (1.1)$$

де i – ступінь дроблення (подрібнення); D_{\max} , d_{\max} – розміри максимального зерна (грудки) у вихідному і дробленому (подрібненому) матеріалі, мм.

З більшою точністю ступінь дроблення (подрібнення) визначають як відношення середніх діаметрів зерен у продуктах до і після дроблення (подрібнення):

$$i = D_{\text{сеп}} / d_{\text{сеп}}, \quad (1.2)$$

де $D_{\text{сеп}}$, $d_{\text{сеп}}$ – середні діаметри зерен (грудок) вихідного і дробленого (подрібненого) матеріалу, мм.

Також знаходять застосування формули:

– для оцінки ступеня дроблення:

$$i = D_{80} / d_{80}; \quad (1.3)$$

– для оцінки ступеня подрібнення:

$$i = D_{95} / d_{95}, \quad (1.4)$$

де D_{80} , d_{80} – розмір квадратних отворів, крізь які проходить 80 % вихідного і дробленого матеріалу, мм; D_{95} , d_{95} – розмір квадратних отворів, крізь які проходить 95 % вихідного і подрібненого матеріалу, мм.

На машинобудівних заводах для характеристики дробарок використовують конструктивну ступінь дроблення, яка визначається за формулою:

$$i = 0,85B/s, \quad (1.5)$$

де B – ширина завантажувального отвору дробарки, мм; s – ширина розвантажувальної щілини дробарки, мм.

Величину $0,85B$ називають ефективною шириною завантажувального отвору дробарки. Вважають, що розмір максимальної грудки матеріалу, який надходить у дробарку, повинен бути на 15 % менше ширини завантажувального отвору, а розмір максимальної грудки у дробленому продукті повинен дорівнювати ширині розвантажувальної щілини.

На збагачувальних фабриках дроблення і подрібнення корисних копалин звичайно здійснюють за кілька стадій, тому що необхідний ступінь дроблення в одній машині одержати практично важко. Частина загального процесу дроблення або подрібнення, яка здійснена в одній машині, називається *стадією дроблення (подрібнення)*. Ступінь дроблення (подрібнення), що досягається в окремій стадії, називається частковим, а у всіх стадіях – загальним. Загальний ступінь дроблення дорівнює добутку ступенів дроблення (подрібнення) в окремих стадіях:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n. \quad (1.6)$$

Число стадій дроблення і подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей корисної копалини, вкраплення корисного мінералу і крупності, що допускається подальшим процесом збагачення. При дробленні узагальнюючим параметром механічних властивостей корисної копалини є *дробимість (дробильність)*, яка може бути охарактеризована коефіцієнтом тривкості (f) за шкалою проф. М.М.Протодьяконова (табл. 1.2). Коефіцієнт тривкості f визначають у залежності від межі міцності на стиск σ_{cm} :

$$f = 0,01\sigma_{cm}. \quad (1.7)$$

Ефективність E роботи дробарок (млинів) оцінюється кількістю дробленого (подрібненого) продукту на 1 квт·год витраченої електроенергії, а величина зворотна ефективності називається питомою витратою енергії e :

$$E = Q / E^*, \text{ т/Дж}; \quad (1.8)$$

$$e = E^* / Q, \text{ Дж/т}, \quad (1.9)$$

де Q – маса дробленого (подрібненого) продукту, т; E^* – енергія витрачена на дроблення (подрібнення), Дж.

**Таблиця 1.2 – Класифікація тривкості гірських порід
(за М.М.Протодьяконовим)**

Категорія	Ступінь тривкості породи	Гірські породи	$K_{тр}$
I	Найвищий	Кварцити, базальти та ін. винятково міцні породи	20
II	Дуже тривкі породи	Граніт, кварцові порфіри, кременистий сланець, пісковики та вапняки підвищеної міцності, деякі кварцити	15
III	Тривкі породи	Граніти та гранітні породи, пісковики і вапняки, міцні мінерали залізних руд	10
III-а	Тривкі породи	Вапняки, деякі граніти (неміцні), пісковики, мрамур, доломіт, колчедани	8
IV	Досить тривкі породи	Звичайний пісковик, залізисті руди	6
IV-а	Те саме	Піскуваті сланці, сланцеві пісковики	5
V	Породи середньої тривкості	Міцний глинистий сланець, неміцні різновиди пісковика і вапняку, м'який конгломерат	4
V-а	Те саме	Різноманітні неміцні сланці, щільний мергель	3
VI	Досить м'які породи	М'який сланець, дуже м'який вапняк, крейда, кам'яна сіль, гіпс, мерзлий ґрунт, антрацит, звичайний мергель, зруйнований пісковик, кам'янистий ґрунт	2
VI-а	Те саме	Щебенистий ґрунт, зруйнований сланець, злежалі галька та щебінь, тверде кам'яне вугілля, затверділа глина	1,5
VII	М'які породи	Глина (щільна), м'яке кам'яне вугілля, міцні наноси	1,0
VII-а	Те саме	Легка піскова глина, лес, гравій	0,8
VIII	Землянисті породи	Чорнозем, торф, легкий суглинок, сирий пісок	0,6
IX	Сипучі породи	Пісок, осипи, дрібний гравій, насипна земля, видобуте вугілля	0,5
X	Пливкі породи	Пливуні, болотистий ґрунт, розріджений лес, розріджено-зволожений ґрунт	0,3

Показники властивостей гірських порід залежать від їхнього складу і будови. Сили зчеплення між кристалами, цементуючою речовиною і

уламками змінюються в широкому діапазоні, що обумовлює великі коливання у механічних властивостях гірських порід. На механічні властивості гірських порід впливають вологість, пористість, шаруватість, крупність мінеральних зерен, поверхневі характеристики тонкодисперсних гірських порід, зокрема ступінь їх гідрофільності та ін.

Процеси дроблення і подрібнення застосовують головним чином для підготовки корисної копалини до подальшого збагачення. Основна мета цих процесів – доведення розмірів грудок корисної копалини до кінцевої крупності, обумовленої вкрапленням корисних мінералів і необхідною повнотою їхнього розкриття.

З міркувань конструктивного характеру, а також унаслідок небажаності переподрібнення, на збагачувальних фабриках застосовуються дробарки, що працюють головним чином роздавлюванням і ударом при додаткових стираючих і згинаючих діяннях на матеріал, що дробиться.

Машина для дроблення і подрібнення, застосовувані на збагачувальних фабриках, за способом руйнування гірських порід і механіко-конструктивними ознаками розділяються на п'ять основних класів: дробарки щоківі, конусні, валкові, ударної дії і барабанні млини.

1.2. Дробарки

1.2.1. Щоківі дробарки

Конструкції щоківих дробарок

Щоківі дробарки установлюють переважно на збагачувальних фабриках невеликої продуктивності. Вони в порівнянні з конусними дробарками більш пристосовані для дроблення глинистих і вологих руд, займають менше місця по висоті, простіші конструктивно, але менш пристосовані для дроблення матеріалів пластинчастої форми.

Щоківі дробарки працюють за принципом роздавлювання і частково згину між двома щоками, з яких одна – нерухома, а інша – рухома. Щоківі дробарки розділяються на два кінематичних класи: із простим рухом щоки – ЩДП і складним – ЩДС. Крупність дробленого продукту щоківих дробарок визначається шириною розвантажувальної щілини (мінімальною відстанню між щоками при їхньому зближенні).

На збагачувальних фабриках для крупного дроблення корисних копалин широко застосовуються *щоківі дробарки з простим рухом щоки* (рис. 1.1). Корпус дробарки з простим рухом щоки складається з передньої стінки **1** (нерухома щока), задньої **8** та двох бокових **15** стінок. Рухома щока **3** підвішена на осі **4**, яка опирається на два підшипники. Робочий простір дробарки між внутрішніми поверхнями бокових стінок і щік (рухомої і нерухомої) футерований змінними плитами **2** зі сталі з високим вмістом марганцю.

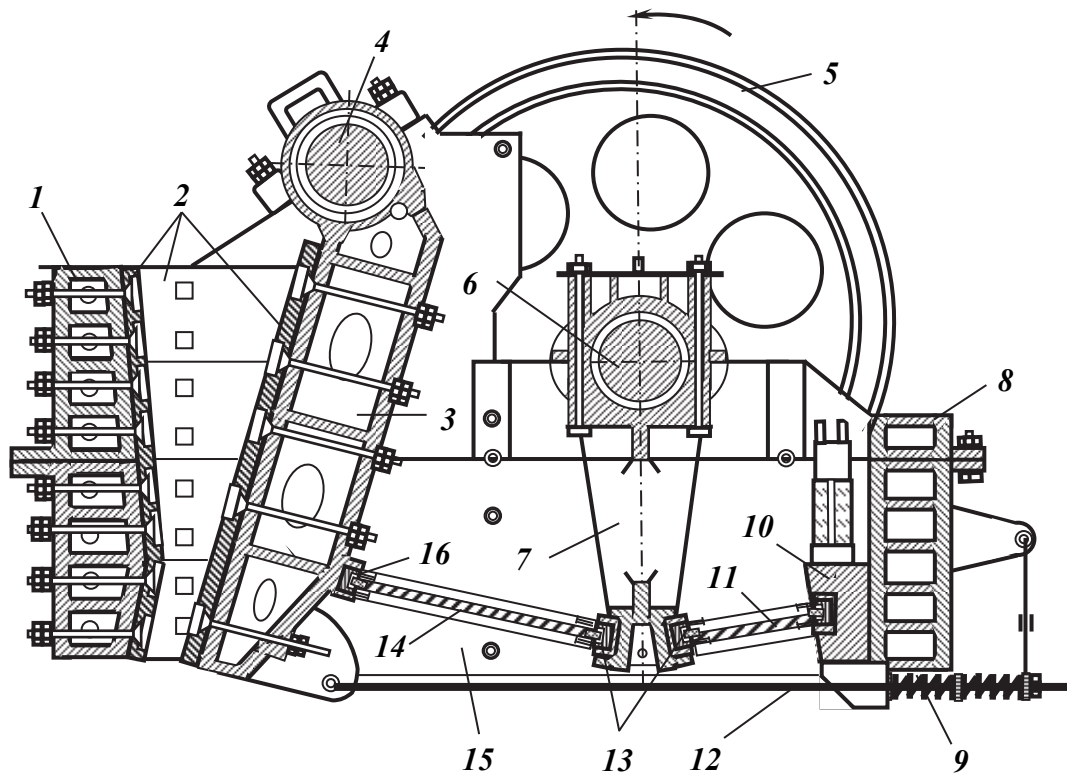


Рис. 1.1 – Щокова дробарка з простим рухом щоки типу ЩДП.

1 – передня стінка; 2 – змінні футерувальні плити; 3 – рухома щока; 4 – вісь; 5 – маховик; 6 – ексцентрикове заточення вала; 7 – шатун; 8 – задня стінка; 9 – пружина; 10 – упорна деталь; 11, 14 – розпірні плити; 12 – тяга; 13, 16 – вкладиші; 15 – бокові стінки.

На ексцентриковому заточенні вала **6**, що опирається на корінні підшипники, розташована головка шатуна **7**, яка при обертанні вала отримує зворотно-поступальний рух у вертикальному напрямку. В гніздах шатуна знаходяться вкладиші **13**, в які вільно вставлені кінці розпірних плит **11** і **14**. Другий кінець передньої розпірної плити вставлений у вкладиш **16** в гнізді рухомої щоки, а задньої розпірної плити – у вкладиш в гнізді упорної деталі **10**. Зусилля дроблення в щоковій дробарці передається через розпірні плити. Тому вкладиші, в які входять кінці плит, а також кінці плит виготовляють з матеріалу великої твердості для протистояння великим навантаженням та зносу. Міцність розпірних плит також використовується для запобігання дробарок від поломок при попаданні в їхній робочий простір предметів, що не дробляться (напр., металевих). Розпірні плити виготовляють з чавуну, їхні перетини ослаблюють отворами і розраховують тільки на нормальні зусилля дроблення. При поломці однієї з розпірних плит коливання щоки припиняються, дробарка зупиняється, що дозволяє уникнути аварії.

Задню розпірну плиту іноді роблять клепаною з двох частин. При небезпечних навантаженнях заклепки зрізаються – дробарка зупиняється.

При русі шатуна угору кут між розпірними плитами збільшується і рухома щока наближається до нерухомої (робочий хід). У цей момент

відбувається дроблення матеріалу роздавлюванням, а також частково за допомогою згину і зсуву. Останні види деформації обумовлені тим, що футерувальні плити мають ребристу або хвилясту поверхню, при цьому виступи на плиті рухомої щоки розташовані проти впадин нерухомої щоки. Бокові стінки футеруються гладкими плитами.

При русі шатуна униз рухома щока відходить від нерухомої під дією сили ваги і пружини **9**, яка зв'язана тягою **12** з рухомою щокою (холостий хід). У цей момент відбувається розвантаження дробленого продукту.

У зв'язку з наявністю у щоківих дробарок робочого і холостого ходів навантаження на привод дуже нерівномірне. Для вирівнювання навантажень на вал **6** насаджені два маховика **5**, один з яких служить приводним шківом. Привод щоківих дробарок здійснюється від електродвигуна через клиноременну передачу на один з маховиків.

Зміна ширини розвантажувального отвору щоківих дробарок провадиться регулювальними клинами або зміною розпірних плит.

На відміну від дробарок з простим рухом щоки в *дробарках зі складним рухом щоки* (рис. 1.2) рухома щока підвішена безпосередньо на ексцентрик

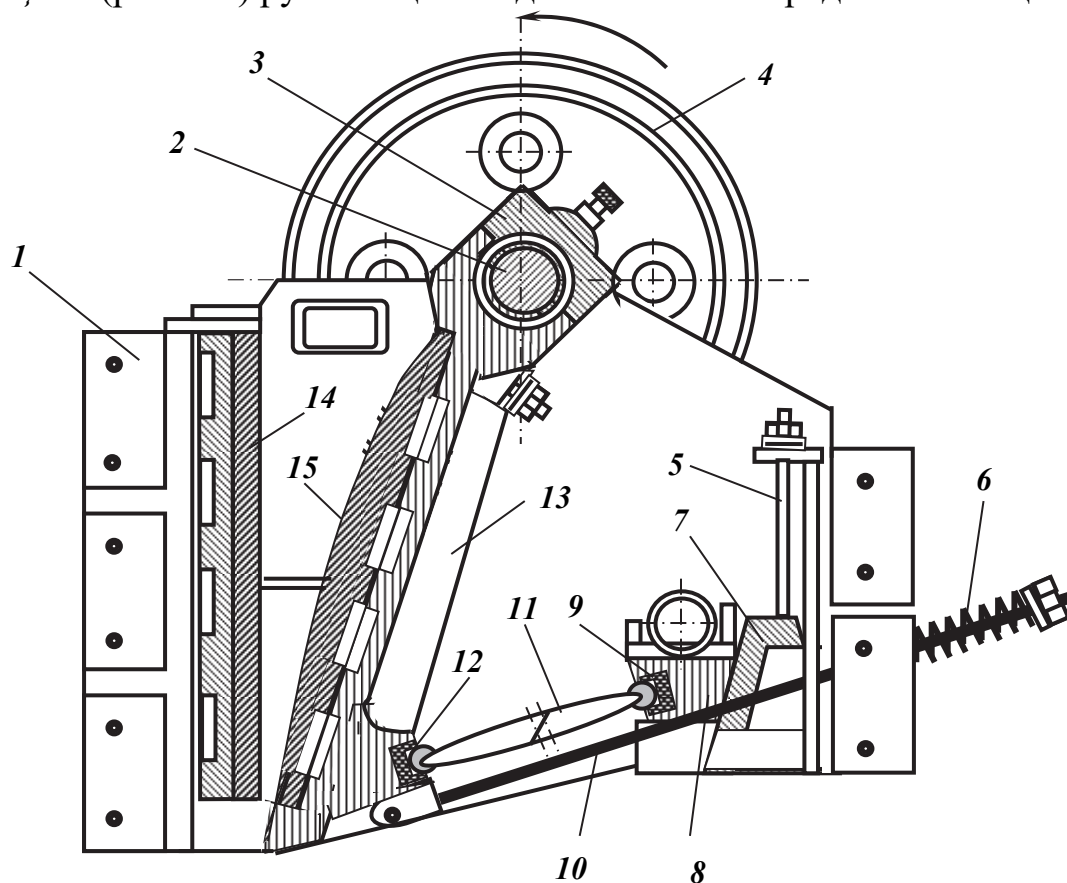


Рис. 1.2 – Щоків дробарка зі складним рухом щоки типу ЩДС.

1 – нерухома щока; 2 – ексцентриковий вал; 3 – корінні підшипники; 4 – шків; 5 – гвинт; 6 – пружина; 7 – клин; 8 – упор; 9, 12 – вкладиші; 10 – тяга; 11 – розпірні плити; 13 – рухома щока; 14, 15 – змінні футерувальні плити.