

INCREASING THE EFFICIENCY OF Pb-Zn ORE COMMINUTION BY OPTIMISING THE CRUSHING PROCESS

Mihail Petrov, Teodora Yankova, Irena Grigорова

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: misho_mgu@abv.bg

ABSTRACT. Ore comminution is important for high-grade concentrates production and has a significant impact on the production costs of beneficiation plants, due to the high electricity consumption in the crushing and grinding processes. This paper examines the implementation results of a new two-stage ore crushing and screening circuit which replaces the three-stage crushing circuit with outdated equipment in a concentrator. The new two-stage crushing circuit includes modern high-performance equipment with low energy consumption: a Nordberg C116 jaw crusher – for coarse crushing, a Nordberg GP 220 cone crusher – for fine crushing, and a Nordberg TS 4.2 screening machine. Optimising the crushing technological mode in the mineral processing plant results in an increased production capacity and efficiency of the downstream processes along the chain: grinding and flotation, and a lower cost of the produced concentrates.

Key words: ore comminution, crushing circuit, optimisation.

ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА РУДОПОДГОТОВКА, ЧРЕЗ ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ТРОШЕНЕ НА Pb-Zn РУДИ

Михаил Петров, Теодора Янкова, Ирена Григорова
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Зърнометричната подготовка на рудите има важно значение за производството на висококачествени концентрати и оказва съществено влияние върху производствените разходи на обогатителните фабрики, поради високото потребление на електроенергия при процесите трошене и смилане. В настоящата статия се разглеждат резултатите от внедряването на нова, двустадийна схема на трошене и пресяване на рудите, заместваща тристадийната схема на трошене с остаряло оборудване в обогатителна фабрика. Новата двустадийна схема на трошене включва съвременно, високопроизводително оборудване с ниска енергоемкост: челюстна трошачка Nordberg C116 – за едро трошене, конусна трошачка Nordberg GP 220 – за ситно трошене и пресевна машина Nordberg TS 4.2. Оптимизирането на технологичния режим на трошене в обогатителната фабрика води до повишена производителност и ефективност и на следващите процеси по веригата – смилане и флотация и по-ниска себестойност на произвежданите концентрати

Ключови думи: зърнометрична подготовка, схема на трошене, оптимизиране

Въведение

Преработката на рудите на цветни метали в обогатителните фабрики, до получаването на крайните продукти от концентрати, включва процесите трошене, смилане, пресяване и флотация. Важно значение за технико-икономическите показатели при обогатяването на рудите има ефективността на технологичните процеси трошене и смилане, поради високата консумация на електроенергия и високите производствени разходи. Ниската ефективност на тези процеси води като последствие до по-ниска ефективност на последващата флотация и загуба на метали в отпадъка. Както споменава Томова, преработката на полезни изкопаеми е насочена към извличане на най-ценните компоненти от рудата, докато останалата част от материала се депонира в отпадъкохранилища (Томова, 2023). При постигнат оптимален зърнометричен състав на рудата се получава необходимото разделяне на рудните минерали в последващата преработка на рудата и необходимото качество на получаваните концентрати, съответстващо на изискванията за металургична преработка, предотвратява се загубата на ценни метали и се редуцират производствените разходи.

В рудните находища, вместващите скали и рудите имат различна твърдост, в зависимост от техния минерален и химичен състав и геоложките условия. Според Мочев и Григорова (2015), разрушаването на скалите започва в макро мащаб далеч преди намесата на човека. Тектониката и земната ерозия са в някаква степен

прототип на механичната преработка на минералните суровини – напукване на скалите, изветрителни процеси, транспортиране и „класиране“ на разрушените скални маси, финализиращи се в седиментацията на различните зърнометрични класи във водоемите, както и на земната повърхност (Мочев, Григорова, 2015). И тъй като скалните разновидности и рудите имат разнороден състав, минно-добивният процес се усложнява, като възникват затруднения главно при раздробяването на рудната маса (Григорова, 2020). За изучаване на характеристиките на находищата и детайлното картиране на скалните разновидности е подходящо и сравнително лесно приложимо използването на геофизични методики, базиращи се на разликата във физичните свойства на рудните минерали с различен състав и вместващите ги скали (Томова, 2023).

Едно от направленията за оптимизиране дейността на обогатителните фабрики се състои във внедряването на съвременно оборудване от най-ново поколение в схемите на трошене и смилане на рудите, което осигурява ефективно разкриване на рудните минерали, увеличаване производителността и постигане на положителен икономически ефект, с по-ниска себестойност на 1 тон от произведените концентрати.

В настоящата работа се разглеждат резултатите от внедряването на нова, двустадийна верига на трошене и пресяване на рудите, включваща съвременно оборудване с висока производителност и ниска енергоемкост, заместваща прилаганата тристадийна схема на трошене в обогатителна фабрика. Остарялото производствено

оборудване води до влошени технологични показатели, пониска производителност и по-високи разходи на обогатителната фабрика.

Материал и методика

В обогатителната фабрика, се преработва оловно-цинкова руда със следните показатели - средно съдържание на олово 2.92%, цинк 3.16%, отн. тегло 2.85 g/cm³ и влажност, варираща от 8 до 9 %. Химичният състав на рудата, постъпваща за преработка в обогатителната фабрика е показан в табл. 1.

Табл.1. Осреднен химичен състав на оловно-цинковата руда, постъпваща за преработка в обогатителната фабрика

Компоненти	Съдържание (%)
Pb	2.92
Zn	3.16
Cu	0.17
S сулфатна	0.10
S сулфидна	4.01
SiO ₂	52.58
Al ₂ O ₃	9.58
CaO	7.25
MgO	4.75
Fe	4.25
Mn	0.70
K ₂ O	2.75
NaO	0.20
TiO ₂	1.00
Ag	18.0
P	0.08
Ni	0.05
Co	0.002

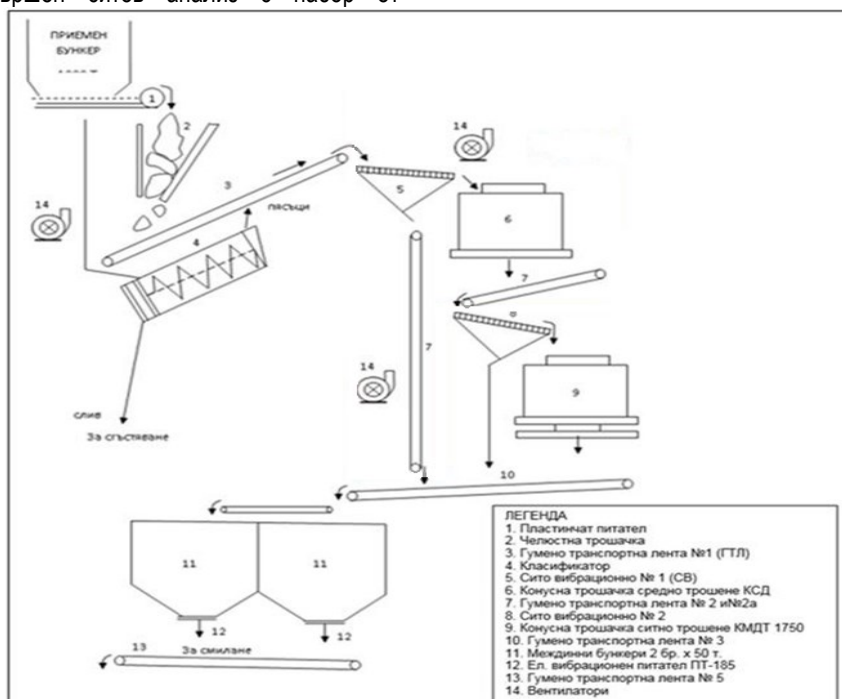
За определяне зърнометричната характеристика на натрошената руда със старата и новата трошачна инсталация е извършен ситов анализ с набор от

лабораторни сита с размери на отворите 40, 25, 20, 12.5, 8, 5 и 2 mm. Зърнометричният анализ е проведен в Лабораторията по Зърнометрична подготовка на суровини на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, МГУ “Св. Иван Рилски”.

Резултати и дискусия

Стара трошачна инсталация

Късовете руда, постъпващи в старата трошачна инсталация имат големина до 400 mm, в единични случаи достигаща 500 mm. Рудата се подлага на 3 стадия на трошене – едро трошене с челюстна трошачка OM 35, с мощност 75 kW; средно трошене с конусна трошачка КСД – 1750 с мощност 160 kW и ситно трошене – с конусна трошачка КМДТ 1750 Т, с мощност 160 kW. Рудата от приемния бункер с вместимост 1000 t се подава за едро трошене посредством пластинчат питател в челюстната трошачка OM 35. Натрошената руда се транспортира с лентов транспортър №1 (ГТЛ) до вибрационно сито № 1. Надситовият продукт се подава за средно трошене в конусна трошачка тип КСД – 1750, с размер на разтоварващия отвор 50 mm, а подситовият продукт чрез лентов транспортър № 3 постъпва в акумулиращи бункери. Натрошената руда се подава на вибрационно сито № 2, като надситовият продукт постъпва за фино трошене в конусна трошачка КМДТ 1750 Т с размери на разтоварващия отвор 18 mm, а подситовият продукт заедно с подситовият продукт от средно трошене чрез ГТЛ № 3 се складира в акумулиращи бункери, захранващи мелничното отделение. Верижна схема на машините и съоръженията в старата трошачна инсталация е представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Верижна схема на машините и съоръженията в старата трошачна инсталация

Степента на натрошаване за първия стадий на трошене е 2.0, а за втория и третия стадий, съответно 2.5 и 4.0. Общата степен на трошене или коефициентът на трошене е 20. Ефективността на пресяване в зависимост от характеристиката на рудата е следната:

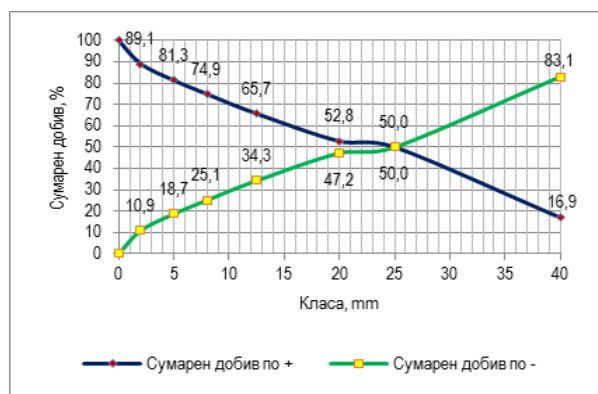
- преди втория стадий на трошене - за класата 50 mm - 70 %; преди третия стадий на трошене – за класата 65 mm - 85 %

Производителността на трошачното отделение е 2000 t/24 h., което показва наличието на известен резерв от мощности за захранване на мелниците с натрошена руда.

Използваното производствено оборудване е физически и морално остаряло и не позволява постигането на оптимален зърнометричен състав на преработваната руда, което води до загубата на метали и увеличени производствени разходи.

Табл. 2. Зърнометричен състав на натрошена руда, стара трошачна инсталация

Класа (mm)	Добив		Сумарен добив (%)	
	g	%	По “+”	По “-”
+40.0	1015	16.9	16.9	100
-40.0 + 25.0	1980	33.1	50.0	83.1
-25.0 + 20.0	165	2.8	52.8	50.0
-20.0 + 12.5	775	12.9	65.7	47.2
-12.5 + 8.0	550	9.2	74.9	34.3
-8.0 + 5.0	385	6.4	81.3	25.1
-5.0 + 2.0	465	7.8	89.1	18.7
-2.0	654	10.9	100	10.9
Общо	5989	100	-	-



Фиг. 2. Зърнометрична характеристика на натрошена руда, стара трошачна инсталация

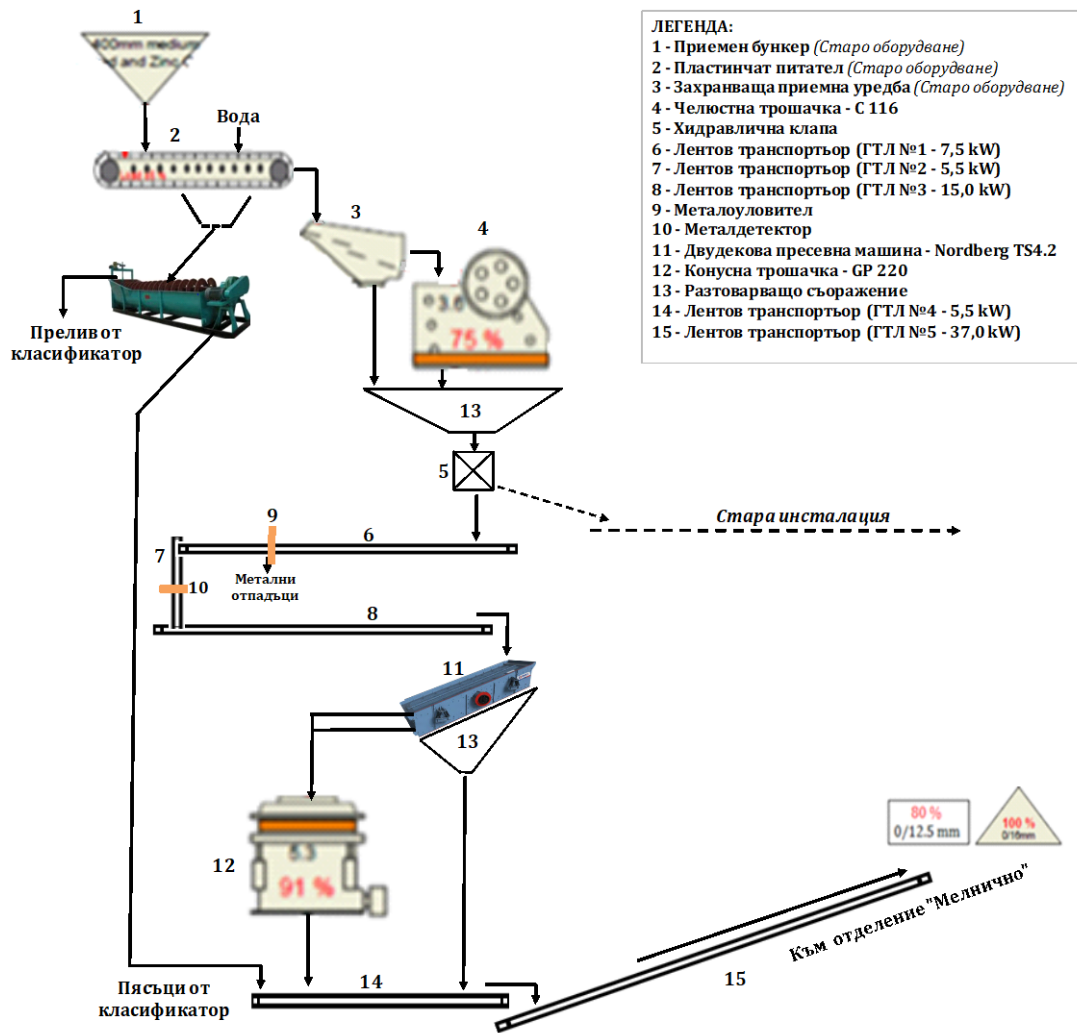
Нова трошачна инсталация

Оптимизирането на трошачните инсталации се извършва с цел постигането на увеличена производителност, паралелно с осигуряването на необходимите по спецификация размери на натрошената руда, при намаление на производствените разходи (Napier-Mun et al., 2005). За оптимизиране на технологичния режим на процеса трошене в обогатителната фабрика е преминато от тристадиално на двустадиално трошене на рудата, с използването на ново оборудване. Главните

фактори, обуславящи избора на оборудването за трошачните инсталации според Мочев и Григорова (2013, 2014) са следните: физически характеристики на рудата (твърдост, влажност, едрина на късовете, подавани за трошене и др.); производителност на обогатителната фабрика; технически характеристики на трошачките и др. За първият стадий на трошене на рудата е въведена в експлоатация челюстна трошачка Nordberg C 116, а за вторият стадий – конусна трошачка Nordberg GP 220 и двудековата вибрационна пресевна уредба Nordberg TS 4.2. Двете трошачки и вибрационното сито имат иновативен дизайн, висока производителност, устойчивост на износване и лесна поддръжка. Верижна схема на машините и съоръженията в новата трошачна инсталация са представени на фиг. 3.

Исходната руда от приемния бункер, с вместимост 1000 t се подава за трошене в челюстна трошачка Nordberg C 116, посредством пластинчат питател. Челюстната трошачка има захранващ отвор 1150 x 800 mm и разполага с възможност за затваряне челюстите на трошачката до 70 mm. Трошачката има IC 1000 - контролна система, включваща пулт за управление, мониторинг на нивото на материала в трошачката, аналогов сензор и мониторинг на оборотите, на настройките на трошачката, съединителната плоча и температурата на основния лагер. След първия стадий на трошене, рудата се транспортира до двудекова вибрационна пресевна уредба Nordberg TS 4.2 посредством три броя лентови транспортъри (ГТЛ). Двудековата вибрационна пресевна уредба Nordberg TS 4.2 е тип „банан“. Нейната висока ефективност и производителност са резултат от комбинацията на трите различни наклона на дековете и променливото елиптично движение, създадено от вибратори тип MV, монтирани над центъра на тежестта. Пресевната машина е със следните размери: широчина 2445 mm, дължина 6100 mm и пресевна площ 15 m². Благодарение на антиадхезионното разтоварващо съоръжение и гравитацията, рудата от подситовия продукт не полепва по стените на съоръжението и пада върху лентов транспортър, който обединява подситовия продукт и натрошения продукт след втория стадий на трошене. Надситовите продукти от двата дека по гравитационен път постъпват във втория стадий на трошене – ситно трошене в конусна трошачка Nordberg GP 220 с наличие на IC 50C автоматизиран контрол.

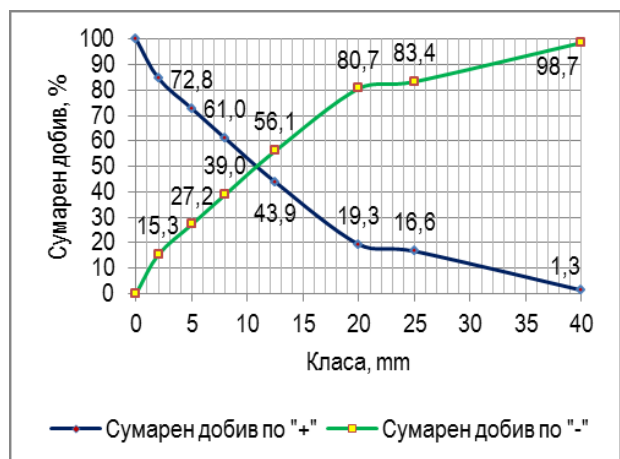
Минималната производителност на трошачката е 144 t/h при настройка на захранващия отвор 14 mm за изходния материал. Натрошената руда от конусната трошачка и подситовият продукт от втория дек на пресевната уредба постъпват на лентов транспортър (ГТЛ) към мелнично отделение. Новата трошачна инсталация дава възможност за постигането на максимално разкриване на рудните фази с размер на частиците 0 до 12,5 mm – 80 % и 0 до 16 mm – 100%. След проведена серия от експерименти за определяне оптималния размер на захранващия отвор на конусната трошачка Nordberg GP 220 е направен ситов анализ на натрошената руда. Получените резултати са представени в табл. 3 и на фиг. 4.



Фиг. 3. Верижна схема на машините и съоръженията в новата трошачна инсталация

Табл. 3. Зърнометричен състав на натрошена руда, нова трошачна инсталация

Класа (mm)	Добив		Сумарен добив (%)	
	g	%	По "+"	По "-"
+40.0	155	1.3	1.3	100
-40.0 + 25.0	1845	15.3	16.6	98.7
-25.0 + 20.0	323	2.7	19.3	83.4
-20.0 + 12.5	2950	24.5	43.9	80.7
-12.5 + 8.0	2067	17.2	61.0	56.1
-8.0 + 5.0	1414	11.8	72.8	39.0
-5.0 + 2.0	1425	11.9	84.7	27.2
-2.0	1845	15.3	100	15.3
Общо	12024	100	-	-



Фиг. 4. Зърнометрична характеристика на натрошена руда, нова трошачна инсталация

Технико-икономически показатели на новата и старата трошачни инсталации

- Установява се с около 39.7 % по-висока ефективност на трошене на рудата с новата трошачна инсталация, в сравнение със старата. Класата -16.0 + 0.0 mm натрошена

руда, получавана с новата трошачна инсталация съставлява 68%, докато със старата инсталация тя е около 41% (табл. 2, 3; фиг. 2, 4).

- С новата, автоматизирана трошачна инсталация се постига по-висока производителност с 35.7%. Производителността на новото оборудване е 129.7 t/h, а на старата инсталация – 83.3 t/h. При количество на изходната руда, ежедневно постъпваща за натрошаване около 900 t, необходимото време за натрошаване се съкращава от 8 на 5.5 часа, с въвеждането на новата инсталация.

- Внедреното ново оборудване се характеризира с много по-ниско потребление на електроенергия, като инсталираната мощност е 451 kW, докато старата инсталация има мощност 718 kW. Реализираното редуциране на потребяваната електроенергия е с 37.2%.

- По-високата ефективност на трошене на рудата с въведената нова трошачна схема, оказва благоприятно влияние на следващите процеси по веригата – смилане и флотация, като се увеличава производителността на мелничното отделение, намалява се разходът на мелничния товар (стоманени топки с диаметър \varnothing 100) и се постига по-доброто разкриване на рудните минерали.

Изводи

Оптимизирането на технологичния режим на трошене на рудите в обогатителните фабрики, с внедряването на ново, съвременно оборудване, води до по-висока ефективност и производителност на процесите смилане и флотация, с подобро извличане на металите, при по-ниски производствени разходи.

Литература

- Григорова, М. (2020). Геофизични методи при решаване на инженерно-геоложки задачи свързани с повишаване ефективността в условията на открит рудник „Хан Крум“, *Геология и минерални ресурси*, 6-7, 3-9, ISSN 1310-2265.
- Мочев, Д., Григорова, И. (2013). *Зърнометрична подготовка на суровините*. Изд. Къща „Св. Иван Рилски“, 419 стр., ISBN 978-954-353-204-9
- Мочев, Д., Григорова, И. (2014). *Практикум по зърнометрична подготовка на суровините*. Изд. къща „Св. Иван Рилски“, 220 стр., ISBN 978-954-353-248-3
- Мочев, Д., Григорова, И. (2015). *Въведение в теорията и практиката на рудоподготовка и преработка на минерални суровини*. Изд. къща „Св. Иван Рилски“, 418 стр., ISBN 978-954-353-274-2
- Napier-Munn, T. J., Morrell, S., Morrison, R. D., Kojovic, T. (2005). *Mineral Comminution Circuits – Their Operation and Optimization*. JK/MRC, University of Queensland, Brisbane, 335 p.
- Tomova, M. (2023). Possibilities of geophysical methods for monitoring an integrated mine waste facility. *Annual of the UMG “St. Ivan Rilski”, vol. 66 – 66 International Scientific Conference*, 20.10.2023, Sofia, Bulgaria (p.180-185). <https://zenodo.org/records/8334672>.
- Tomova, M. (2023). Geophysical techniques for monitoring of integrated mine waste storage facility: Case study of Southeastern Bulgaria, *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)*, 26, (pp. 341-347). <https://doi.org/10.55549/epstem.1409280>