

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PROCESSING OF PRIMARY SULPHIDE COPPER ORE

Teodora Yankova, Irena Grigorova

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

ABSTRACT. Technological investigations have been conducted for the processing of primary sulphide copper ore from a porphyry-copper deposit. In previous studies, the chemical, mineral and particle size composition and grindability of the same sulphide copper ore from a technological ore sample provided were studied. Phase analysis has been performed for determining the forms of copper presence in the ore. A collective-selective flotation flowsheet has been developed, including three cycles: collective flotation, copper-pyrite selection, and pyrite flotation. The optimal technological parameters for each individual flotation cycle have been experimentally determined. The results of the conducted technological investigations have shown that the developed collective-selective scheme of flotation, with obtaining copper and pyrite concentrate, is effective for the ore from the analysed technological sample. The following products and parameters were obtained: copper concentrate with a content of 21.3% Cu, 25% S, 0.33% Mo, respectively with the recovery of Cu - 88.17% Cu, S - 26.8%, and Mo - 73.4%; pyrite concentrate with a content of 50.2% S and the recovery of total S - 66.5%

Ключови думи: primary sulphide copper ore, scheme of collective-selective flotation

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБОГАТЯВАНЕ НА ПЪРВИЧНИ СУЛФИДНИ РУДИ

Теодора Янкова, Ирена Григорова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Проведени са технологични изследвания за обогатяване на първична сулфидна медна руда от меднопорфирно находище. При предишни изследвания са изучени химичният, минерален и зърнометричен състав и смислаемостта на същата сулфидна медна руда от предоставена технологична рудна проба. С фазов анализ са определени формите на присъствие на медта в рудата. Разработена е схема на колективно-селективна флотация на рудата, включваща три цикъла – колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация, като експериментално са определени оптималните технологични показатели за всеки отделен флотационен цикъл. Резултатите от проведените технологични изследвания показват, че разработената колективно-селективна схема на флотация, с получаване на меден и пиритен концентрат, е ефективна за рудата от анализиранията технологична проба. Получени са следните продукти и показатели: меден концентрат със съдържание на 21.3% Cu, 25% S, 0.33% Mo, при извличане съответно на Cu – 88.17%, на S – 26.8% и на Mo – 73.4%; пиритен концентрат със съдържание на 50.2% S и извличане на обща S – 66.5%

Ключови думи: първична медна сулфидна руда, схема на колективно-селективна флотация

Въведение

Меднопорфирните находища осигуряват около 75% от световния добив на метала мед, който широко се използва в енергийната инфраструктура, зелените технологии и др. (Tsekov et al., 2003; Angelov et al., 2013). Добиват се също значителни количества от молибден и злато, а от някои находища – важни метали като рений, сребро, платиноиди, селен, телур и др. (Sillitoe, 2010; John and Taylor, 2016).

В настоящата разработка се приважат резултати от извършените технологични изследвания за обогатяване на първична сулфидна медна руда от меднопорфирно находище. За изучаване на химичния, минерален, зърнометричен състав и смислаемостта на рудата, са извършени предшествващи изследвания на предоставена технологична проба (Янкова и др., 2021). С фазов анализ са определени и формите на присъствие на медта в рудата.

Данните от извършените химични анализи на руда от технологичната проба, показват съдържание на 0.215 % Cu, 0.0041 % Mo и 0.06 g/t Au. Установяват се повишени

съдържания на компонентите SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O, Na₂O, и др. вследствие присъствието на нерудни фази, съпътстващи орудяването (Янкова и др., 2021). В количествено отношение в анализиранията рудна проба преобладават нерудните фази (93%), представени главно от скалообразуващи минерали от вместващите скали и в много по-малка степен – от съпътстващи орудяването гангови минерали. Рудните фази съставляват около 6% и са представени от магнетит (3%), пирит (2%) и халкопирит (1%). В най-голямо количество от нерудните минерали е застъпен кварцът (42%), следван от мусковит (14%), албит (12%), микроклин (9%), клинохлор (9%), диопсид (5%). Нерудните фази, придружаващи рудната минерализация са преимуществено кварц и много по-рядко калцит (1%) и барит (1%).

Фазовият анализ, извършен за определяне формите на присъствие на медта в рудата – мед, разтворима във вода, свободна и свързана оксидна мед, първични и вторични медни сулфиди показва, че основната част от медта – 80.36 % е представена от първични сулфидни минерали

(халкопирит) и в много по-малка степен от вторични медни сулфиди – 15.62 %. Сравнително ниско е съдържанието на оксидна мед (3.6 %) и на разтворима във вода мед (0.44 %), (Янкова и др., 2021). Фазовият анализ потвърждава, че техноложката проба е съставена предимно от първична медна сулфидна руда.

Изследвана е смилаемостта на рудата и е определен енергийният индекс на Бонд, които показват, че рудата е лесно смилаета. Определена е и степента на разкриване на рудните минерали, в зависимост от степента на смилане (Янкова и др., 2021).

Анализът на получените данни дава основание да се направят следните изводи:

- Медта основно се съсредоточава в класа „- 0.080 mm”, сярата – в класа „-0.20+0.04 mm”, докато молибденът е разпределен относително равномерно в класата под 0.200 mm;
- Може да се приеме, че P65 „- 0.080 mm” е оптималната степен на смилане за сулфидната руда. Халкопиритът почти напълно (90 %) се разкрива при едрина на класа „-0.125 mm”. Същото се отнася и за пирита. Молибденитът се разкрива напълно при едрина на зърната под 0.080 mm.

Методи и материали

Като се имат предвид вещественния състав и физико-механичните свойства на техноложката проба, както и тенденциите в световната практика на обогатяване на бедни, меднопорфирни руди, бе приета схема на колективно – селективна флотация за осъществяване на техноложките изследвания.

Схемата на флотация включва три цикъла: колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация, като схемите и технологичните режими за отделните цикли са самостоятелно определяни.

Основните параметри на колективна флотация, оказващи съществено влияние върху технологичните показатели са изучени чрез серия от лабораторни експерименти.

С установените оптимални стойности на изследваните параметри са проведени опити в затворен цикъл за определяне технологичните показатели на колективната флотация.

Разработени са схеми и технологичен режим за определяне технологичните показатели на медно-пиритната селекция и пиритната префлотация на сулфидната руда. Техноложките изследвания са проведени със следната апаратура:

1. Топкова мелница за смилане на 1 kg руда с полезен обем 7 l;
2. Топкова мелница за смилане на 0.33 kg руда и обем 3.3 l;
3. Топкова мелница за досмилане с размери 100 x 150 mm;
4. Механична флотационна машина „Denver” с обем на камерата 3 l, 1.5 l и 0.75 l;
5. Лабораторна вибрационна ситова машина Analysete 3;
6. Пехаметър

Използваните реагенти са подавани в следните концентрации:

1. Реагент регулатор на средата – вар – химически чист натурален CaO.

2. Реагент събирател – смес от изобутилов и изоамилов ксантогенат (1:1) + Hostafлот 7257 – 0,1% разтвор.

3. Реагент пенообразувател – OrePrep X-133 – 0.1% разтвор.

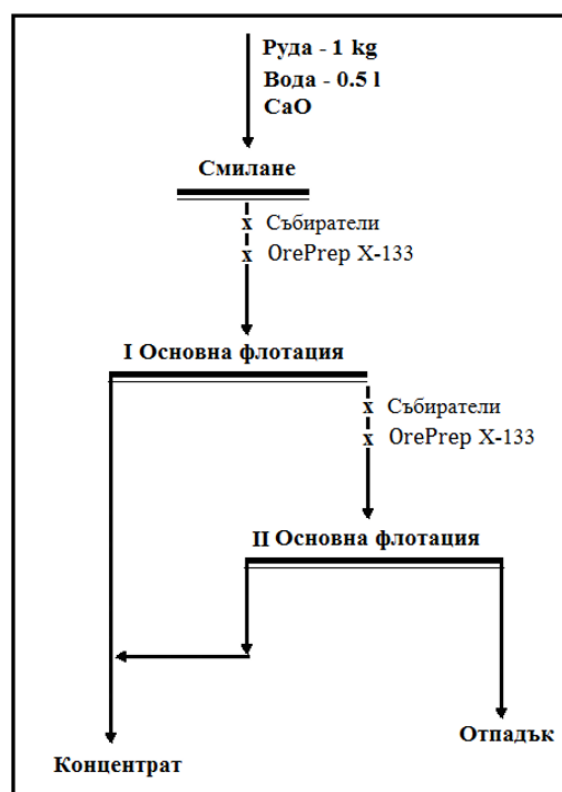
4. Реагент регулатор - депресор – водно стъкло – 1% разтвор;

5. Сярна киселина – 5% разтвор.

Резултати и дискусия

Определяне оптималните условия на основна колективна медно-пиритна флотация

Лабораторните експерименти бяха проведени по схемата, представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема и технологичен режим на опитите за определяне оптималните условия на основна колективна флотация

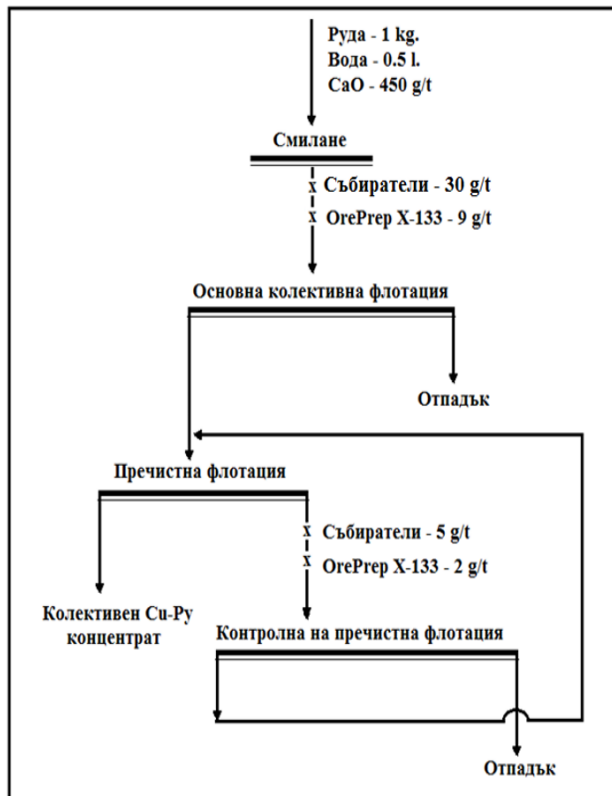
Въз основа на серия от лабораторни тестове бяха определени оптималните условия на основната колективна медно-пиритна флотация: степен на смилане - 65 % клас „-0.08 mm”, разход на CaO – 450 g/t, разход на събиратели – 30 g/t, разход на пенообразувател OrePrep X-133 – 9 g/t и време на флотация 11 min.

Определяне технологичните показатели на колективна медно-пиритна флотация

За определяне технологичните показатели на колективната медно-пиритна флотация са извършени лабораторни експерименти в затворен цикъл по открито-циклова схема. Схемата включва основна колективна медно-пиритна флотация, пречиствена и контролна

флотация на пречистната. Тя се осъществява при относително едро смилане на рудата, като полученият колективен концентрат при необходимост може да бъде досмлян, до степен на пълно разкриване на срастъците. По този начин се постига висока производителност на процеса на смилане и максимално извличане на ценните компоненти в рудата.

Технологичният режим на опитите в затворен цикъл беше определен въз основа на установените оптимални условия за основна колективна флотация. Тестовите бяха проведени по схемата показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема и технологичен режим на опитите в затворен цикъл на открито-циклова схема на колективна флотация

Получените резултати показват, че по открито-цикловата схема за изследваната технологична проба се получава 91-93 % извличане на Cu, 91-93 % извличане на S и 81-85 % извличане на Mo. Съдържанието на ценните компоненти в колективния концентрат е както следва – 6 % Cu, 22 % S и 0.11-0.13 % Mo.

Въз основа на получените резултати от проведените изследвания, като оптимални за колективния цикъл могат да се приемат следните стойности на технологичните параметри:

- смилане – 0.65 % клас „-0.08 mm“;
- разход на регулатор (СаО) в смилането за постигане в основна колективна флотация на pH-9 – 450 g/t руда;
- разход на събирател (смес от изобутилов и изоамилов ксантогенат 1:1 и Hostafлот) в основна колективна флотация – 30 g/t руда;
- разход на пенообразувател OrePrep X-133 – 9 g/t руда;
- продължителност на основна колективна флотация – 10-12 min;

- продължителност на пречистна флотация - 5 min;
- продължителност на контролна на пречистна флотация – 5 min;
- разход на керосин в основна колективна флотация – 30 g/t руда.

За изучаване на веществения състав на продуктите от колективния цикъл на флотация са извършени химични, зърнометрични и минераложки анализи.

От зърнометричния анализ на отпадъка от основна флотация бе установено, че загубите на Cu и S са съсредоточени в класата „+0.125 mm“. При добив на класата 16,06 %, в нея се намират около 31 % от загубите на Cu и около 33% от загубите на S с отпадъка. Минераложкият анализ показва, че тези загуби се дължат на фини срастъци на сулфидите с нерудните минерали. Замърсяването на колективния концентрат със скалообразуващи минерали се дължи на класата „+0.125 mm“, в която са съсредоточени едри срастъци между сулфидните минерали и нерудните фази.

Определяне технологичните показатели на медно-пиритна селективна флотация

За определяне показателите на медно-пиритната селективна флотация е преработено известно количество руда по технологичната схема и реагентен режим, показани на фиг. 2, до получаване на колективен концентрат. След това по схемата на фиг. 3, включваща досмилане на колективния концентрат, агитация, основна и контролна медно-молибденова флотация и две пречистни операции, е получен меден концентрат, със съдържание на 21 % Cu при извличане от цикъла на селекция 97 - 98%.

Като основни фактори на медно – пиритната селекция, чието влияние беше проверено, бяха приети: досмилане на колективния концентрат и остатъчната концентрация на свободен СаО. Всички останали елементи на схемата и на технологичния режим – агитация, време на флотация и брой пречистни операции – бяха приети и уточнени по време на опитите без да се изучава тяхното влияние върху процеса.

Вещественият състав на крайните продукти от цикъла е изучен чрез химични, ситови и минераложки анализи.

Беше установено следното:

1. При досмилане на колективния концентрат до 85% клас „-0.08 mm“ и остатъчна концентрация на СаО съответно в медно-молибденова флотация 500 - 550 g/m³ и в I (първа) пречистна флотация 700 g/m³ се получава меден концентрат със съдържание на 20.2% Cu и извличане 98.3% в цикъла на селекция. При досмилане на колективния концентрат до 95 % клас „-0.08 mm“ и остатъчна концентрация на свободен СаО в основна медно-молибденова флотация 700 – 750 g/m³, а в I пречистна флотация 850 – 900 g/m³ се получава меден концентрат със съдържание на 21.3% Cu при извличане 97.2% в цикъла на селекция.

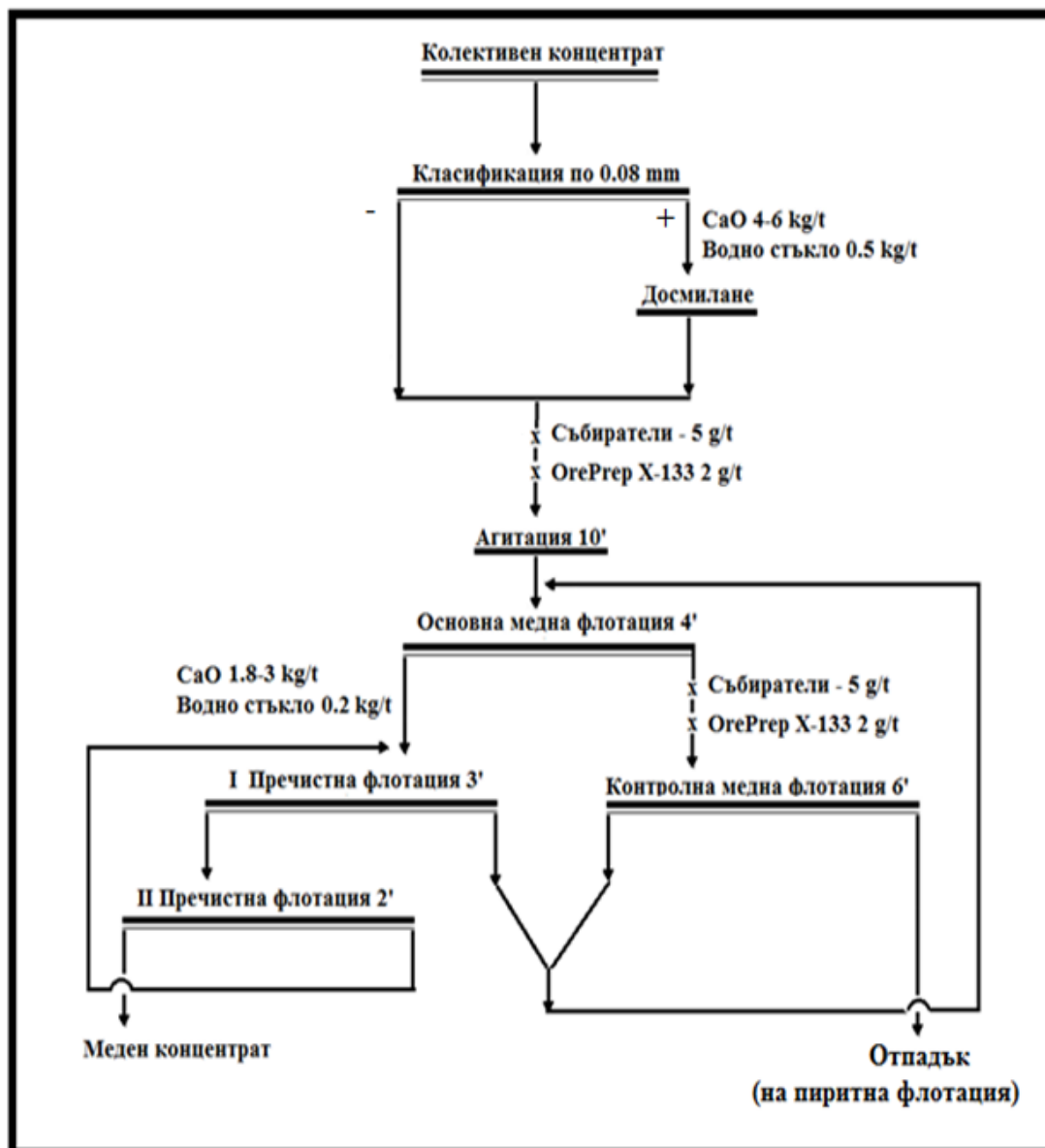
2. Получените медни концентрати са със средно съдържание на 20.8 % Cu и 25.1 % S (60% халкопирит, 8% пирит и 32% нерудни минерали).

3. Замърсяването на медния концентрат се дължи предимно на фини срастъци на халкопирита и пирита със скалообразуващи минерали (в класа „+0.08 mm“).

4. Загубите на Cu в отпадъка от селекцията се дължат на фини срастъци между халкопирита и

скалообразуващите минерали и на шламове във фините класи.

5. Съдържанието на Мо в медния концентрат е 0.35 %. Извличането на Мо от цикъла е задоволително – 88.5 – 89.9%.



Фиг. 3. Схема и технологичен режим на опитите в затворен цикъл за медно-пиритна селекция

Определяне технологичните показатели на пиритна флотация

Проучванията показват, че е възможно получаване на пиритен концентрат от изследваната сулфидна руда при високо извличане от цикъла на пиритна префлотация.

За определяне технологичните показатели на пиритната флотация на изследваната рудна проба, бяха извършени опити в затворен цикъл по схемата, представена на фиг. 4.

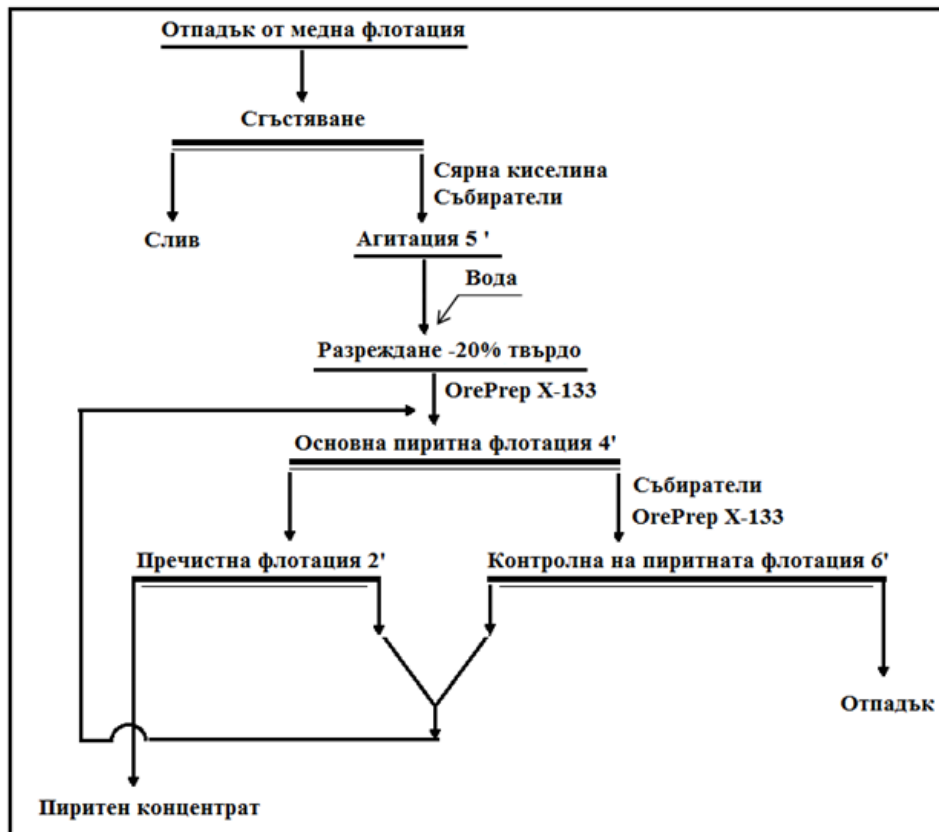
За активатор на пирита е използвана сярна киселина, като разходът ѝ бе променен с оглед получаване на pH около 7.5 в основна флотация.

Резултатите от проведените опити потвърждават възможността за получаване на пиритен концентрат със съдържание на S над 50%, при извличане от цикъла 95 – 96 %

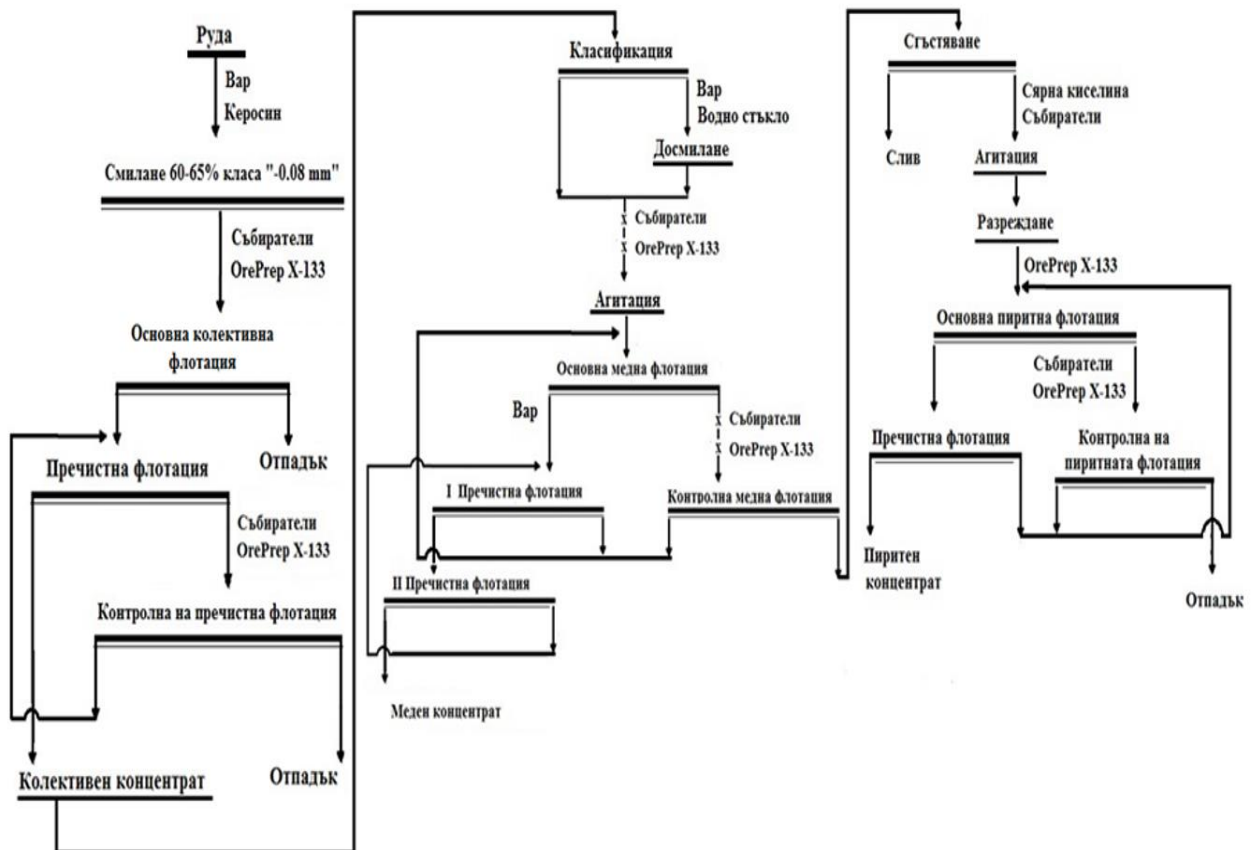
Резултатите от извършените ситови и минераложки анализи на пиритен концентрат показват, че в класите с едрина над 0.040 mm са съсредоточени 56 % от онечистванията с Cu, под формата на редки срastвания с халкопирит.

В по-фините класи Cu се разпределя равномерно.

Разработената колективно-селективна схема и технологичен режим за обогатяване на изследваните първични сулфидни руди са представени на фиг. 5.



Фиг. 4. Схема и технологичен режим на опитите по пиритна флотация



Фиг. 5. Колективно-селективна схема и технологичен режим за обогатяване на първични сулфидни руди

Заклучение

Проведените технологични флотационни изследвания доказват, че разработената колективно-селективна схема на флотация с получаване на меден и пиритен концентрати е рационална за предоставената рудна техноложка проба.

По тази схема в лабораторни условия са получени следните продукти и показатели:

- меден концентрат, със съдържание на 21.3 % Cu, 25% S и 0.33% Mo, при извличане съответно на Cu - 88.17 %, на S - 26.8 % и на Mo - 73.4 %.

- пиритен концентрат, със съдържание на 50.2 % S и извличане на обща S - 66.5 %.

Литература

Angelov T., Savov G., Tsekov A, Valchanova I., 2013. Operating Experience from the Buchim Copper Project, In:

Proceedings of XII National Conference with international participation of the open and underwater mining of minerals, June 26-30, 2013, Varna, Bulgaria, 402-407.

John, D. A., R. D. Taylor. 2016. By-products of porphyry-copper and molybdenum deposits: Chapter 7. In: *Rare earth and critical elements in ore deposits*, v. 18 (Eds. Verplanck, P. L., M. W. Hitzman), 137-164.

Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry-copper systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.

Tsekov V., Savov G., Kanev V., Garvanov T., Angelov T., Kovacheva-Ninova V., 2003. Combined Complex Processing of Tzar Asen Pit, In: *Proceedings of the X Balkan Mineral Processing Congress*, Varna, June 15-20, 2003, 715-717.

Янкова, Т., Т. Ангелов, И. Нишков. 2021. Изследвания върху веществения състав и физико-механичните свойства на меднопорфирна руда. – Год. МГУ „Св. Иван Рилски“, 64, 103-108.