



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ “СВ. ИВАН РИЛСКИ”  
МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА „ОБОГАТЯВАНЕ И РЕЦИКЛИРАНЕ НА СУРОВИНИ”**

---

**Ас. маг. инж. Цветелина Валериева Иванова**

**МЕТОД НА ФЛОТАЦИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЕН КОНТАКТ – ТЕХНОЛОГИЧНИ  
ВЪЗМОЖНОСТИ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертационен труд за присъждане на  
образователна и научна степен „**ДОКТОР**”,

Научна област: 5. Технически науки

Професионално направление 5.8. Проучване, добив и обработка на полезните  
изкопаеми

Докторска програма: Обогаhtяване и рециклиране на суровини

**Научен консултант: проф. д-р Иван Нишков**

**СОФИЯ, 2019**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“ към Миннотехнологичен факултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на 18.09.2019 г., съгласно Ректорска заповед № Р-724 от 11.09.2019 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р- 821 от 07.10.2019 г., на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на 19.12.2019 г. от 15:00 часа в зала 138 на Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209.

*Утвърденото Научно жури е в състав:*

1. Доц. д.т.н. Ирена Григорова – председател;
2. Проф. д.т.н. Методи Методиев – външен;
3. Проф. д-р Георги Клисуранов – външен;
4. Доц. д-р Георги Меразчиев – външен;
5. Доц. д-р Димитър Мочев – вътрешен;

*Резервни членове:*

2. Проф. д.т.н. Стойчо Стоев, външен;
3. Проф. д.т.н. Владко Панайотов, вътрешен;

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

1. Проф. д-р Георги Клисуранов, външен;
2. Доц. д-р Димитър Мочев, вътрешен;

Дисертантът е докторант на самостоятелна подготовка към катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“.

Изказвам благодарността си към моя научен ръководител **проф. д-р Иван Нишков** за ценните съвети и напътствия, за придобитите знания, за помощта и моралната подкрепа, която ми оказва през целия период на докторантурата.

Благодаря и на всички членове от **катедра “Обогатяване и рециклиране на суровини”** към Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” за полученото съдействие.

Автор: ас. маг. инж. Цветелина Валериева Иванова

Заглавие: Метод на флотация с предварителен контакт – технологични възможности

Тираж: 20 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

## СЪДЪРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД</b>                                                                                                                     | <b>4</b>  |
| <i>Актуалност на проблема</i>                                                                                                                                            | 4         |
| <i>Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване</i>                                                                                                 | 4         |
| <i>Научна новост</i>                                                                                                                                                     | 5         |
| <i>Практическа приложимост</i>                                                                                                                                           | 6         |
| <i>Апробация</i>                                                                                                                                                         | 6         |
| <i>Публикации</i>                                                                                                                                                        | 6         |
| <i>Структура и обем на дисертационния труд</i>                                                                                                                           | 6         |
| <b>II. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР И АНАЛИЗ ПО ПРОБЛЕМА</b>                                                                                                                        | <b>8</b>  |
| <b>III. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО И ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРОДУКТИТЕ</b>                                                                                                   | <b>10</b> |
| <b>IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ</b>                                                                                                                                   | <b>12</b> |
| IV.1. Лабораторни експерименти с междинен продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане в технологичната верига на ОФ „Асарел“                                     | 12        |
| IV.1.1. Лабораторни тестове за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина <i>Pneufлот</i> върху технологичните показатели                      | 12        |
| IV.1.2. Лабораторни тестове на флотационна машина <i>Pneufлот</i> с оптимизирани технически параметри                                                                    | 13        |
| IV.1.2.1. Изучаване влиянието на общата повърхност на пенната формация на флотационна машина <i>Pneufлот</i> , върху технологичните показатели                           | 13        |
| IV.1.2.2. Изучаване влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид (CaO) върху ефективността на флотационния процес                                                | 16        |
| IV.1.3. Изследване влиянието на реагента MINFIT върху технологичните показатели, в условията на флотация с лабораторна флотационна машина PNEUFLOT                       | 24        |
| IV.1.4. Лабораторни тестове на флотационна машина PNEUFLOT с отпадък от контролна медна флотация                                                                         | 26        |
| IV.1.5. Охарактеризиране на крайните продукти, получени при лабораторните експерименти с флотационна машина <i>Pneufлот</i>                                              | 28        |
| IV.1.6. Възможности за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на Обогатителна фабрика преработваща меднопорфирни руди            | 29        |
| IV.2. Изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт за извличане на цинк, сребро, олово и мед от междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек | 31        |
| IV.2.1. Лабораторни тестове за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина <i>Pneufлот</i> върху технологичните показатели                      | 31        |
| V.2.2. Лабораторни тестове на флотационна машина <i>Pneufлот</i> с оптимизирани технически параметри                                                                     | 32        |
| IV.2.2.1. Изследване влиянието на pH на пулпа и разходът на избраните флотационни регенти върху ефективността на флотационния процес                                     | 32        |
| IV.2.3. Изследване влиянието на общата повърхност на пенната формация на флотационна машина <i>Pneufлот</i> върху технологичните показатели                              | 33        |
| <b>ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>                                                                                                                                      | <b>36</b> |
| <b>НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ</b>                                                                                                                                | <b>38</b> |
| <b>СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД</b>                                                                                                                     | <b>39</b> |
| <b>РЕЗЮМЕ</b>                                                                                                                                                            | <b>40</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                                                                                                                                           | <b>41</b> |

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

## **Актуалност на проблема**

През последните няколко години постоянните опити за усъвършенстване на дизайна и оптимизиране работата на флотационните машини, доведе до разработването на едно ново поколение пневматични флотационни машини от колонен тип - флотационни машини с предварителен контакт. Установената трайна тенденция към намаляване съдържанието на ценни компоненти, особено при металните полезни изкопаеми е една от предпоставките за изследване възможностите за оптимизиране и подобряване ефективността на работа, както на флотационните машини, така и на цялостните технологични операции.

Оптимизацията на схемите на флотация в обогатителните фабрики зависи най-вече от целите, които бихме желали да постигнем, като най-често повечето преработвателни комплекси се стремят към максимална производителност и постоянно качество на крайния продукт. Разработването на иновативни инженерни решения, с цел подобряване ефективността на флотационния процес, водещо до пълноценно оползотворяване на все по-бедните суровини е една от най-важните задачи, пред която минерално-суровинната индустрия се изправя.

В настоящия момент за минерално-суровинната индустрия е от изключително важно значение, минните компании да поставят по-голямата част от иновативния си фокус върху оптимизирането на остарелите технологии в стремежа да намалят разходите и да повишат ефективността на производствените процеси, както от икономическа, така и от екологична гледна точка. Внедряването на колонните флотационни машини с предварителен контакт в технологичните схеми на обогатителните фабрики и металургичните комплекси е един от пътищата за оптимизиране на производствения процес. Поради тази причина и усилията в настоящия дисертационен труд са съсредоточени към изучаване на технологичните възможности на метод на флотация с предварителен контакт.

За постигането на необходимото развитие и производството на качествени крайни продукти (продукти от обогатяването), при преработката на все по-бедни находища е необходимо усъвършенстването на съществуващите технологии и внедряването на иновативни методи и технологични решения, което определя и *актуалността на настоящият дисертационен труд*.

Значимостта на дисертацията се обуславя и от факта, че през последните десетилетия, развитието на пневматичните флотационни машини с предварителен контакт, предоставят на минерално-суровинната индустрия възможности за по-ефективно извличане на ценните компоненти, повишени качествени показатели, екологосъобразно и устойчиво производство.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

Базирайки се на извършения литературен обзор и анализ на реализацията на елементарния акт на флотация във флотационните машини от типа пневмомеханични, колонни и пневматични машини с предварителен контакт, както и анализ на реализацията на метод на флотация с предварителен контакт в различните типове пневматични флотационни машини е конкретизирана основната цел на дисертационния труд.

Основната цел на настоящата разработка е насочена към изследване технологичните възможности на метод на флотация с предварителен контакт. Изследователският фокус на дисертационния труд е насочен към изследване ефективността на работа на пневматична флотационна машина с предварителен контакт *Pneufлот* за различни междинни продукти.

Реализирането на основната цел предпостави насочването на научния интерес към решаването на следните изследователски задачи:

1. Изучаване, задълбочен обзорен преглед и анализ на развитието на флотационния процес и най-разпространените в практиката флотационни машини – механични, пневматични и пневмомеханични.

2. Изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот* в технологичната верига на обогатителна фабрика, преработваща меднопорфирни руди.

2.1. Избор на междинен продукт, с цел изследване възможностите на метода на флотация с предварителен контакт с флотационна машина *Pneufлот* в технологичната верига на Обогатителна фабрика „Асарел“;

2.2. Изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели;

2.3. Изследване влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид, флотационен реагент MINFIT (модифицирана смес на сулфосоли) и общата повърхност на пенната формация, върху ефективността на флотационния процес;

2.4. Изследване възможностите на метода на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот* с отпадък от контролна медна флотация;

3. Изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот* в технологичната верига на Комбинат за цветни метали, КЦМ АД, гр. Пловдив.

3.1. Избор на междинен продукт при хидрометалургичната преработка на цинкови сулфидни концентрати, с цел изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт с флотационна машина *Pneufлот* в технологичната верига на КЦМ 2000 АД;

3.2. Изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели;

4. Въз основа на научно-приложните резултати, извеждане на общозначими изводи и заключения.

За реализацията на поставените цели и задачи са използвани следните **общонаучни изследователски методи**: методи на емпирично и теоретично изследване, комбинирани общонаучни методи за изследване и експериментални изследвания в производствени условия

**Обект на изследване** в настоящия дисертационен труд е пневматична флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт.

**Предметът на изследване** в разработката е създаването на технологични възможности и решения за повишено извличане на мед и молибден от междинен продукт в технологичната верига на Обогатителна фабрика «Асарел» и на цинк, сребро, олово и мед от междинен продукт в технологичния цикъл на Комбинат за цветни метали «КЦМ 2000 АД» – гр. Пловдив.

## Научна новост

Научната новост на дисертационния труд се изразява в получаването на ценни и недостатъчно разпространени знания за технологичните възможности на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран от пневматична флотационна машина *Pneufлот* за различни междинни продукти при преработване на медно-порфирни руди и оловно-цинковата металургия. В шеста част на дисертационния труд, (*Глава VII*) са представени всички елементи на научната новост на дисертацията.

## Практическа приложимост

Практическата значимост на дисертационния труд се заключава във възможностите за по-ефективно извличане на мед и молибден от междилен продукт в технологичната верига на Обогатителна фабрика «Асарел» и на цинк, сребро, олово и мед от междилен продукт в технологичния цикъл на Комбинат за цветни метали “КЦМ 2000 АД” – гр. Пловдив, както и осигуряване на повишени качествени показатели, екологосъобразно и устойчиво производство.

## Апробация

Публична апробация на научните резултати представени в дисертационния труд е извършена на няколко етапа: участия в специализирани международни научни форуми (конгреси и конференции); публикации в международни списания с научно рецензиране; изнесена публична лекция пред студенти от специалност „Обогатяване и рециклиране на суровини“, както и обсъждане в първичното научно звено, Разширен катедрен съвет на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“.

## Публикации

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в четири научни статии, от които една е самостоятелна, в специализирани международни рецензирани и в български научни издания и сборници.

## Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **163** страници, като включва въведение, десет глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **(66)** литературни източници, като **(61)** са на латиница и **(5)** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **(107)** фигури и **(85)** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в МГУ „Св. Иван Рилски“, Миннотехнологичен факултет, Лаборатория „Флотационни методи за обогатяване“, Лаборатория „Технологична оценка на минерални суровини и отпадъци“, Лаборатория „Управление на отпадъци“ към катедра «Обогатяване и рециклиране на суровини», и в Обогатителна фабрика „Асарел“, „Асарел-Медет“ АД.

Авторката на дисертационния труд маг. инж. Цветелина Валериева Иванова е асистент в катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Миннотехнологичен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“.

В *първа част (Глава I)* е извършен литературен обзор и анализ, обхващащ историческите аспекти и етапите в развитието на флотационния процес, видовете флотационни машини, а също и развитието на колонната флотация. Изучени и анализирани са иновациите до момента, при внедряването на колонните флотационни машини и флотационните машини с предварителен контакт. Извършен е анализ на реализацията на елементарния акт на флотация във флотационните машини от типа пневмомеханични, колонни и пневматични машини с предварителен контакт, както и анализ на реализацията на метод на флотация с предварителен контакт в различните типове пневматични флотационни машини. Доказана е актуалността на проблема. В заключение са изведени обобщени изводи от извършения литературен обзор.

Втора част (Глава II) на дисертацията конкретизира актуалността на проблема, цели, които трябва да се постигнат и задачите, които трябва да бъдат решени.

Третата част (Глава IV) на дисертационния труд обхваща методология на изследването, методиките които са приложени и материалите, които са изследвани.

Четвърта част (Глава IV) на дисертационната работа представя данни за проведените изследвания за охарактеризиране на обекта на изследване: *слив от хидроциклон в цикъла на досмилане* в технологичната верига на Обогатителна фабрика „Асарел“ и *междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек* в технологичната верига на КЦМ АД, гр. Пловдив. Представени са резултатите от извършените изследвания. Представени са химични, зърнометрични и минераложки характеристики на изследваните обекти.

Пета част (Глава V) обхваща експерименталната част на дисертацията. Първият фокус в експерименталната част на разработката е насочен към проведените лабораторни изследвания за изучаване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот*, с междинен продукт – *слив хидроциклон в цикъла на досмилане* от технологичната верига на ОФ „Асарел“. Проведени са лабораторни тестове за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели. Изследвано е влиянието на дебита на захранващия пулп, влиянието на дебита (разхода) на нагнетявания въздух, на размера на захранващите дюзи, както и на височината на пенната формация. Изучено е влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид (CaO) върху ефективността на флотационния процес. Изследвано е влиянието на реагента MINFIT върху технологичните показатели в условията на флотация с лабораторна флотационна машина *Pneufлот*. Проведени са лабораторни тестове на флотационна машина *Pneufлот* с отпадък от контролна медна флотация. Охарактеризирани са крайните продукти, получени при лабораторните експерименти с флотационна машина *Pneufлот*. Извършен е анализ на получените резултати.

Вторият фокус в експерименталната част на дисертацията е насочен към изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт за извличане на цинк, сребро, олово и мед от междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек. Проведени са лабораторни експерименти за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели. Изследвани са влиянието на дебита на захранващия пулп, дебита на нагнетявания въздух, размера на захранващите дюзи, както и височината на пенната формация. Проведени са сравнителни лабораторни тестове на флотационна машина *Pneufлот* с оптимизирани технически параметри. Изучено е също и влиянието на pH на пулпа и селективността на избраните флотационни регенти върху ефективността на флотационния процес. Изследвано е влиянието на общата повърхност на пенната формация при свободни и стеснени условия. Получените резултати са обобщени и анализирани. В края на Пета част (Глава V) са изведени общи изводи от интерпретираните експериментални данни.

Общозначимите изводи и заключение, научно-приложните приноси, насоките за бъдеща работа, публикациите по дисертационния труд, библиографията и приложенията са представени в заключителната *шеста част* на дисертационния труд.

Дисертационният труд е допълнен с приложения, обезпечаващи подробна информация за получените резултати. За изучаване поведението на молибденита и формата му на присъствие в определени концентрати и отпадъци, получени при лабораторните изследвания с флотационна машина *Pneufлот* са проведени XRF (РФА), и минераложки изследвания по фракции, представени в Приложения I– VI. Извършени са минераложки изследвания и рентгеноструктурни анализи (XRD–X-ray diffraction) на междинен хидрометалургичен продукт -

цинков кек. В Приложения IX-XII са включени микрофотографии на цинков кек в отразена светлина и в СЕМ (Приложение IX), микрофотографии на гуингит в СЕМ (Приложение X), дифрактограми на непромит и промит цинков кек (Приложение XI) и микрофотографии на утаено с цинков прах сребро (Ag) в СЕМ и енергийно-дисперсионни спектри (Приложение XII).

## II. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР И АНАЛИЗ ПО ПРОБЛЕМА

Флотацията е един от най-масово прилаганите технологични процеси за обогатяване на полезни изкопаеми. Флотацията е сложен физико - химичен процес, който в основата си е гравитационен процес, основаващ се на възможността на хидрофобните минерали да се закрепват върху образуваните в минералната суспензия въздушни мехурчета и образувайки по този начин един комплекс минерал-въздушно мехурче, с обща плътност, по-ниска от тази на водата, да се закрепят на повърхността на минералната суспензия, от която лесно могат да бъдат отделени, като трифазна минерализирана пяна.

Развитието на теорията и технологията на флотационния процес са непосредствено свързани с развитието и усъвършенстването на флотационните съоръжения и преди всичко на флотационните машини. Съвременните флотационни машини се отличават с доста голямо разнообразие, но в зависимост от начина на аерация на пулпа те могат да се класифицират в следните основни типове: механични, пневматични и пневмомеханични.

Тенденцията за увеличаване на обема на клетките е довело до създаването на напълно нови конструкции флотационни машини, които се различават по принципа на действие от механичните и пневмомеханични роторни машини. Едни от най-ярките представители на флотационните машини без механично разбъркване са широко разпространените колонни флотационни машини, както и бързо развиващите се през последните две десетилетия – флотационни машини с предварителен контакт.

Широкото практическо внедряване на типа колонна флотационна машина се явява едно от големите постижения през миналият век в областта на флотационното обогатяване. Към преимуществата на класическата колонна флотационна машина в сравнение с механичната и пневмомеханичната се отнасят: повишената производителност, подобрената хидродинамика, селективността на процеса, получаването на концентрат с необходимото качество с минимално количество пречистни и контролни операции, съкращаване обема на производствената площ, икономия на електроенергия.

Характерът на движение на частицата и мехурчето е важен фактор, от който зависят вероятността за образуване на флотокомплекса, степента на минерализация, скоростта на флотация и енергоемкостта на процеса. Поради отсъствието на разбъркващи устройства (статор-роторна система) и ниската турбулентност на пулповият поток в колонната флотационна машина, инерционните сили, разрушаващи комплекса частица-мехурче са незначителни.

Повишаването на флотоактивността на въздушните мехури е свързано с увеличаване времето на тяхното кондициониране, т.е. интервала между момента на образуване и минерализацията на мехурчетата. Вследствие значителната височина на колоната продължителността на пребиваване на въздушните мехурчета в нея е по-висока, т.е. осъществява се процес на минерализация при оптимална флотоактивност на мехурчетата.

Пенната флотация е разработена в средата на XIX век и все още е най-ефективният и широко прилаган метод за обогатяване на руди (около 2 млрд. тона руда, преработвана всяка година). Процесът флотация се използва във всички групи трифазни технологии: хранителната, пречистването на отпадъчни води, кондициониране на питейни води, обезмастиляване на рециклирана хартия, отстраняване на органични замърсители в отпадъчните води при

млечната и бирената промишленост, в металургичната, химическата и минерална промишленост, възстановяване на замърсени почви и др.

През тридесетте години на миналият век академик *P. A. Rebinder* създава обобщената теория за физикохимичните повърхностни явления и основата на процеса флотация. Флотационният процес преминава през няколко етапа на развитие, благодарение на редица научни разработки и изследвания. Усъвършенстването и надграждането на флотационната технология е свързано главно с обедняването на рудите и повишеното търсене на черни, цветни и благородни метали, индустриални минерали и въглища. Флотационният процес претърпява развитие, първоначално от маслената флотация, към ципова флотация до познатата ни днес пенна флотация. Принос за това имат редица учени и техните патенти и разработки.

Друг етап е прилагането на флотацията, като основен метод за преработка на полезни изкопаеми, както и развитието и модификациите на флотационните машини.

Едни от първите използвани флотационни клетки са механичните и пневмомеханичните и на по-късен етап пневматичните клетки, които във времето претърпяват множество модификации до днешните колонни флотационни клетки и пневматични флотационни машини с предварителен контакт.

Резултатите от извършения литературен обзор дават ясна представа, че внедряването на колонната флотационна машина се явява едно от големите постижения през миналия век в областта на флотационното обогатяване. В световен мащаб, флотационните колонни машини масово се инсталират в пречистните флотационни операции при преработка на различни видове суровини. Като преимущества на класическата колонна флотационна машина могат да се отбележат: повишаване на производителността, подобрената хидродинамика, селективността на процеса, получаването на концентрат с необходимото качество, ограничена необходимост от допълнителни пречистни и контролни операции, съкращаване обема на производствената площ, икономия на електроенергия и др.

В резултат на извършения литературен обзор, определено би могло да се твърди, че изправени пред все по-сложна пазарна среда, за компаниите преработващи минерални суровини е от съществено значение постоянното оптимизиране на производствените операции и оборудване, с цел обезпечаване на едно по-сигурно бъдеще в производствен, технико-икономически и екологичен аспект.

*В резултат на комплексното изучаване, задълбочен обзорен преглед и анализ на развитието на флотационния процес и най-разпространените в практиката флотационни машини, могат да се изведат следните общозначими изводи:*

**1.1.** Трайната тенденция към намаляване съдържанието на ценни компоненти, особено при металните полезни изкопаеми е една от предпоставките за изследване на възможностите за оптимизиране и подобряване ефективността на работа, както на флотационните машини, така и на цялостните технологични операции. През последните няколко години постоянните опити за усъвършенстване на дизайна и оптимизиране работата на флотационните машини е довела до разработването на ново поколение пневматични флотационни машини от колонен тип - флотационни машини с предварителен контакт.

**1.2.** Развитието на пневматичните флотационни машини с предварителен контакт, предоставя на минерално-суровинната индустрия възможности за по-ефективно извличане на ценните компоненти, повишени качествени показатели, екологосъобразно и устойчиво производство. Разработването на иновативни инженерни решения, с цел подобряване ефективността на флотационния процес, водещо до пълноценно оползотворяване на все по-бедните суровини е особено важна задача пред която минерално-суровинната индустрия се изправя.

1.3. Внедряването на колонната флотационна машина е едно от големите постижения през изминалия век в областта на флотационното обогатяване. В световен мащаб, флотационните колонни машини масово се инсталират в пречистните флотационни операции при преработка на различни видове суровини.

1.4. Анализът на реализацията на елементарния акт на флотация, във флотационните машини от типа пневмомеханични, колонни и пневматични машини с предварителен контакт показва, че извличането, което се постига зависи от механизма на закрепване на частиците към мехурите, което може да се осъществи посредством контактуване между издигащ се мехур и падащи частици, чрез прилепване на разтворен газ към повърхност на частицата или при контакт между частица и нестабилен зараждащ се мехур в градиента на налягането.

1.5. В резултат на извършените обстояйни проучвания беше установено, че турбулентното течение не е абсолютно необходимо за осъществяване на флотацията. Тя би могла да се осъществи и при ламинарни условия, но вероятно с по-слаба интензивност. При срещата на частиците и мехурчетата, разбъркването може да има, както положителна роля за преодоляване на бариера, чрез притискащата сила, така и отрицателна роля, чрез една голяма откъсваща инерционна сила.

Фокусът на настоящата дисертация е насочен към изследване ефективността на работа на пневматична флотационна машина с предварителен контакт *Pneufлот* за различни междинни продукти. Главната цел е да се изследват възможностите на метод на флотация с предварителен контакт с флотационна машина *Pneufлот*, в технологичната верига на Обогабителна фабрика „Асарел“ («Асарел-Медет» АД) и Комбинат за цветни метали (КЦМ АД), гр. Пловдив.

### III. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО И ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРОДУКТИТЕ

Въз основа на извършения литературен обзор, бе избрана за изследване пневматична флотационна машина с предварителен контакт *Pneufлот*, за изучаване флотацията на различни междинни продукти: слив от хидроциклон в цикъла на досмилане и междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек.

Първата група експерименти бяха проведени с междинен продукт от технологичната верига на обогатителна фабрика, преработваща меднопорфирни руди, по метода на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот*, с междинен продукт: слив от хидроциклон в цикъла на досмилане. Изследванията обхващат избор на междинен продукт, изучаване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели, изследване на общата повърхност на пенната формация, върху ефективността на флотационния процес, както и изследване влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид, флотационен реагент MINFIT (модифицирана смес на сулфосоли).

Втората част от експериментите бяха проведени с междинен продукт от технологичната верига на Комбинат за цветни метали, по метода на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот* с цел извличане на цинк, сребро, олово и мед от междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек. Изследванията обхващат избор на междинен продукт при хидрометалургичната преработка на цинкови сулфидни концентрати, изучаване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели.

За изучаване веществения състав на междинния продукт слив от хидроциклон в цикъла на досмилане, постъпващ на основна медна флотация в Обогабителна фабрика „Асарел“ са използвани следните известни в литературата методи и анализи: химичен и зърнометричен

(мокър ситов анализ), определяне съдържание на твърдата фаза. Получените резултати са представени в Таблица IV.1 и Таблица IV.2.

Таблица IV.1. Химичен състав на междинния продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане

| Елементи      | Cu   | Mo, g/t                                            | Fe    | S     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> |
|---------------|------|----------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------|------------------|
| Съдържания, % | 3.40 | Варира в широки граници:<br>От 500 до над 2000 g/t | 32.00 | 39.00 | 4.04                           | 20.00            |

Таблица IV. 2. Зърнометричен състав на междинния продукт

| Класа,<br>mm   | Добив,<br>% | Сумарен добив, % |       |
|----------------|-------------|------------------|-------|
|                |             | +                | -     |
| + 0.200        | 0.34        | 0.34             | 99.66 |
| - 0.200 +0.100 | 11.78       | 12.12            | 87.88 |
| - 0.100 +0.045 | 37.67       | 49.79            | 50.21 |
| - 0.045 +0.00  | 50.21       | 100.00           | 0.00  |
| <b>ОБЩО</b>    | 100.00      |                  |       |

От резултатите, получени след извършване на зърнометричния анализ и представени в Таблица IV.2 е установено, че в междинния продукт класата с едрина под 0,045 mm е преобладаваща в количествено отношение и представлява около 50%.

Съдържанието на твърда фаза в междинния продукт слив от хидроциклон в цикъла на досмилане варира в широки граници от **20 до 55 %**.

За изучаване веществения състав на цинковия кек са използвани следните методи и анализи: химичен и зърнометричен (мокър ситов) анализ, минераложки анализ (микроскопски изследвания в отразена светлина, количествени рентгеноспектрални микроанализи, дифрактометрични рентгеноструктурни анализи и сканираща електронна микроскопия), стандартна методика за определяне истинската плътност на прахообразен материал, с използване на пикнометър.

Таблица IV. 3. Химичен състав на цинков кек

| Елементи      | Zn   | S об. | Pb  | Cu   | Fe    | SiO <sub>2</sub> | Ag          |
|---------------|------|-------|-----|------|-------|------------------|-------------|
| Съдържания, % | 18.7 | 4.45  | 5.0 | 1.03 | 27.85 | 7.1              | 150-200 g/t |

Таблица IV.4. Зърнометричен състав на цинков кек

| Класа,<br>mm  | Частен добив |        | Сумарен добив, % |        |
|---------------|--------------|--------|------------------|--------|
|               | g            | %      | По „+“           | По „-“ |
| +0,100        | 3.70         | 2.47   | 2.47             | 100.00 |
| -0,100 +0,056 | 2.20         | 1.49   | 3.94             | 97.53  |
| -0.056 +0.00  | 144.10       | 96.06  | 100.00           | 96.06  |
| <b>ОБЩО</b>   | 150.00       | 100.00 |                  |        |

От резултатите, получени след извършване на зърнометричния анализ и представени в Таблица IV.4 е установено, че в цинковия кек класата с едрина под 0,056 mm е преобладаваща в количествено отношение и представлява около 96%.

Цинковият кек има сложен минерален състав и много високо съдържание (90%) на фини частици с големина под 25 µm. Цинковият кек се характеризира с високо съдържание на ценни компоненти като Zn, Ag, Pb, Cu и др. Основните минерални фази в кека са представени

предимно от цинков ферит, цинков сулфат, плумбоярозит, англезит, медни сулфиди, меден оксид, сребро (150-200 g/t) и др. Относителната плътност на материала е 3.32 g/cm<sup>3</sup>.

Проведени са рентгеноструктурни дифрактометрични анализи за определяне минералния състав на изходната суровина от цинков кек и след разтваряне и отстраняване на водоразтворимия цинк. Получените резултати показват, че основната, преобладаваща в количествено отношение минерална фаза в цинковия кек е представена от цинков ферит – франклинит (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). В подчинено количество присъстват минералите гунингит (ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O), гипс (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), плумбоярозит [PbFe<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>] и англезит (PbSO<sub>4</sub>).

#### IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За оценка на технологичните възможности на пневматична флотационна машина *Pneufлот*, реализираща методът на флотация с предварителен контакт, бяха проведени две групи флотационни експерименти.

Първата група флотационни експерименти обхваща изучаване възможностите на методът на флотация с предварителен контакт, с пневматична флотационна машина *Pneufлот*, чрез изследване на междинен продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане, от технологичната верига на обогатителна фабрика, преработваща меднопорфирни руди – ОФ „Асарел“. Тази група експерименти беше проведена в условията на Обогатителна фабрика „Асарел“.

Втората група флотационни експерименти включва изследване на възможностите на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран с флотационна машина *Pneufлот*, чрез изследване на междинен продукт – междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек, от технологичната верига на Комбинат за цветни метали, гр. Пловдив.

##### IV.1. Лабораторни експерименти с междинен продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане в технологичната верига на ОФ „Асарел“

###### IV.1.1. Лабораторни тестове за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели

Следните технически параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот* бяха изследвани: дебит на захранващия пулп; дебит (разход) на нагнетявания въздух; размер на захранващите дюзи и височина на пенната формация.

Техническите параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот* са изучавани при стендови условия, при провеждане на основна медна флотация (9 min). Всички тестове са проведени с реална моментна проба в условията на ОФ „Асарел“.

Въз основа на проведените серии от флотационни експерименти бяха установени оптималните технически параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот* за междинния продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане в условията на ОФ „Асарел“. Оптималните технически параметри са представени в Таблица V.9.

Таблица V.9. Оптимални технически параметри на флотационна машина *Pneufлот* за междинния продукт слив от хидроциклон в цикъла на досмилане

| Параметри                 |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Време на флотация         | Основна Cu флотация - 9 min. |
| Дебит на захранващия пулп | 350 l/h                      |
| Разход на въздух          | 300 l/h                      |
| Размер на захранващи дюзи | 2.7 mm                       |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| Височина на пенен слой | 80 mm |
| Обем на изходен пулп   | 50 l  |

Проведените изследвания за определяне на техническите параметри на флотационната машина *Pneufлот* за конкретния междинен продукт - слив от хидроциклон в цикъла на досмилане в условията на ОФ „Асарел“, показват потенциалните възможности на флотационната машина *Pneufлот*. При реализиране на основна медна флотация, с продължителност 9 min са получени концентрати със съдържание на мед (Cu) в рамките на 6.35 – 9.15 %, като е достигнато извличане на мед (Cu): 54 – 74 %. Добивът на меден концентрат, при проведените флотационни експерименти е в границите на 27 – 40 %. Тези технологични резултати дават основание да се твърди също така, че обектът на изследването – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане - за приложимост на пневматична флотационната машина *Pneufлот* е правилно подбран.

#### IV.1.2. Лабораторни тестове на флотационна машина *Pneufлот* с оптимизирани технически параметри

Проведени са лабораторни флотационни експерименти, с поддържане на постигнатите оптимизирани технически параметри на флотационна машина *Pneufлот*, за междинния продукт слив от хидроциклон в цикъла на досмилане. Всички тестове са проведени с реална моментна проба в условията на ОФ „Асарел“. С оптималните технически параметри на флотационна машина *Pneufлот* са проведени следните две групи експерименти:

1) Изучено е влиянието на общата повърхност на пенната формация на флотационна машина *Pneufлот*, върху технологичните показатели, като са проведени два вида флотационни експерименти: при свободни условия, осигурени от голяма обща повърхност на пенната формация и при стеснени условия, с намалена обща повърхност на пенната формация.

2) Изследвано е влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид (CaO) върху ефективността на флотационния процес.

С цел по-качествена и пълна интерпретация на технологичните резултати, са построени следните графични зависимости:

- ❖ Кинетика на флотационния процес;
- ❖ Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати;
- ❖ Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати;
- ❖ Зависимост между извличането на медта и добива на получените концентрати;
- ❖ Криви на селективност – зависимост между сумарното извличане на медта и сумарното извличане на останалите компоненти (Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>) в добитите концентрати.

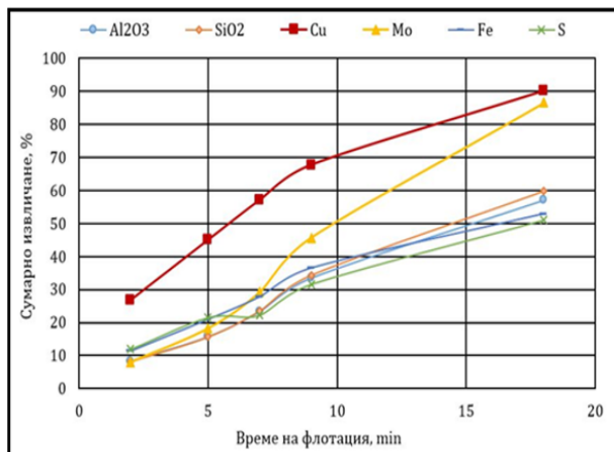
##### IV.1.2.1. Изучаване влиянието на общата повърхност на пенната формация на флотационна машина *Pneufлот*, върху технологичните показатели

По-долу е представена съпоставка на резултатите от флотационните експерименти, проведени при стеснени и свободни условия на пенната формация.

На фигури V.1 и V.6 е представено сумарното извличане на съответните компоненти в зависимост от времето на флотация.

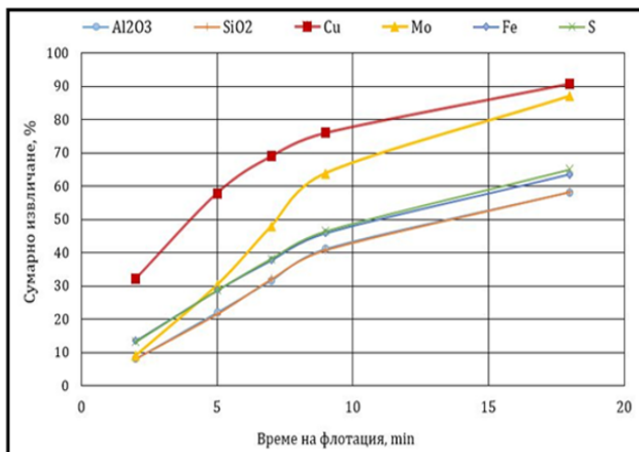
Получените експериментални резултати за междинен продукт – слив от хидроциклон в цикъла на досмилане, ясно показват влиянието на общата повърхност на пенната формация върху технологичните показатели на процеса.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНЕНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.1. Кинетика на флотационния процес

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)



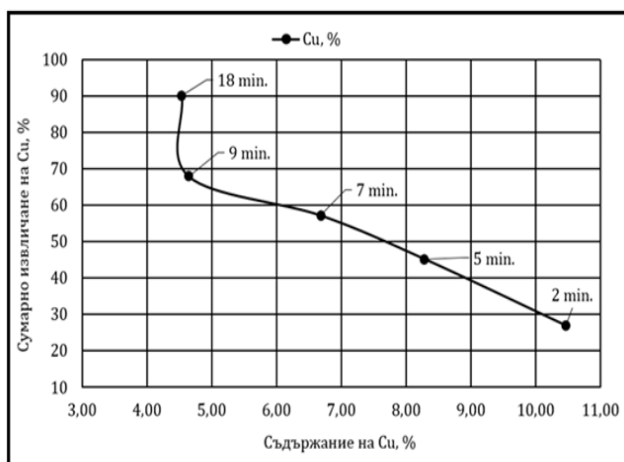
Фигура V.6. Кинетика на флотационния процес

При теста със свободни условия се наблюдава по-бърза кинетика на флотация на халкопирита в първите минути на основна флотация, в сравнение с тази при теста със стеснени условия на пенната формация, след което извличането на мед, след контролна флотация достига до 90 %.

При стеснени условия на пенната формация се реализира по-малка обща повърхност, което води до увеличаване височината на пенния стълб. Реализира се допълнителен процес на вторична концентрация в пенната формация. Създават се условия на конкурентост между хидрофобните и хидрофилните минерални частици, с цел оставане в обема на пяната, което води до получаването на по-висококачествен концентрат. Прави впечатление бързата кинетика на флотация на халкопирита особено в основна флотация в сравнение с тази на молибденита. До 7-8 min молибденитът флотира много бавно, след което започва да флотира активно за да достигне на 18 min извличане над 85 %.

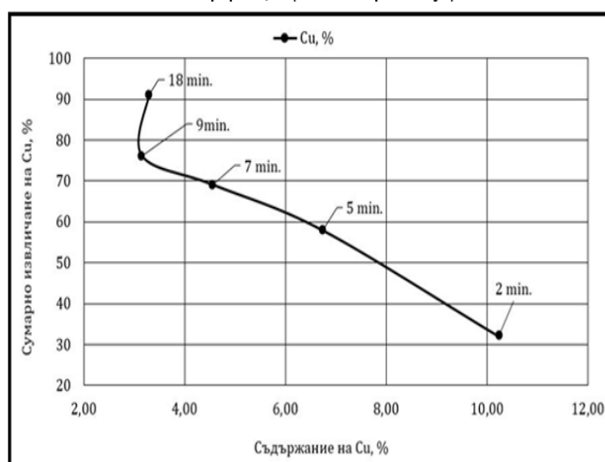
На фигури V.2 и V.7 са представени резултатите от сумарното извличане на мед, като функция от съдържанието на мед в добитите концентрати.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНЕНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.2. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)

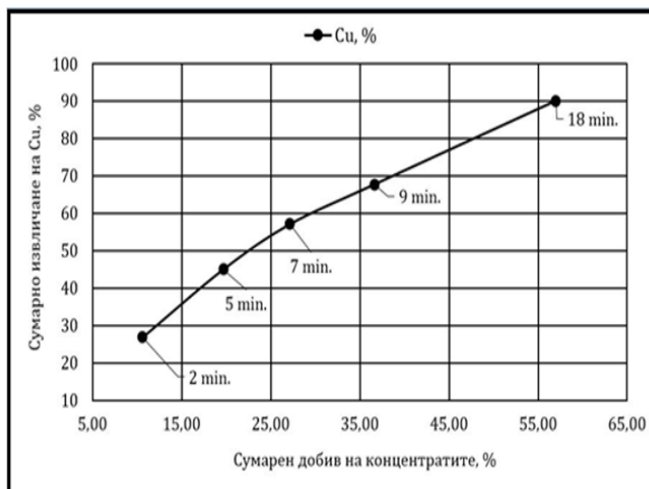


Фигура V.7. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати

При стеснени условия на пенната формация се получава по-чист концентрат с по-високо съдържание на мед. Естествено при свободни условия се реализира по-висок добив на общия концентрат.

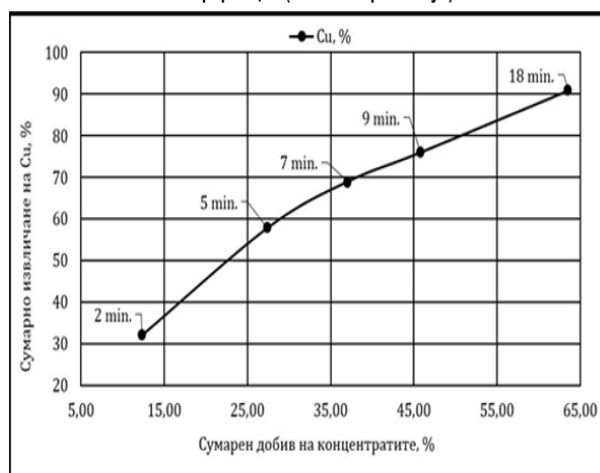
На фигури V.3 и V.8 са представени резултатите относно влиянието на добива върху извличането на мед в получените концентрати.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНЕНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.3. Зависимост между сумарния добив и извличането на мед в отделените флотационни концентрати

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)

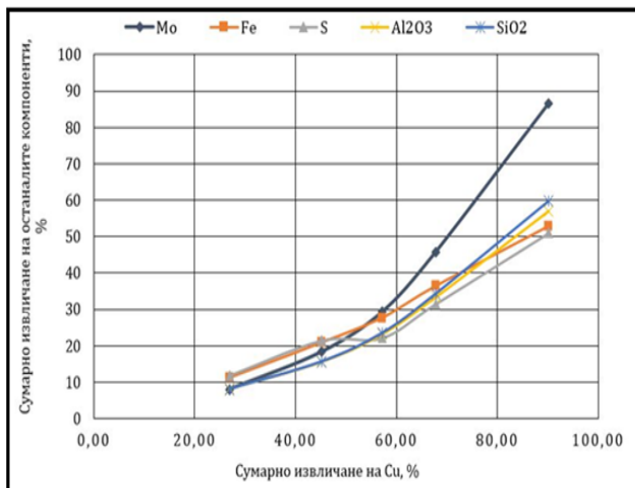


Фигура V.8. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати

При стеснени условия на пенната формация (намалена площ) се получава по-чист концентрат, с по-високо съдържание на мед. При свободни условия на пенната формация (увеличена площ) се реализира по-висок добив на общия концентрат. И при двата варианта – стеснени и свободни условия на пенната формация, съдържанието на мед в крайния отпадък е под 1.00 %, а извличането на медта след 18-та минута флотация и при двата флотационни експеримента е над 90.00 %.

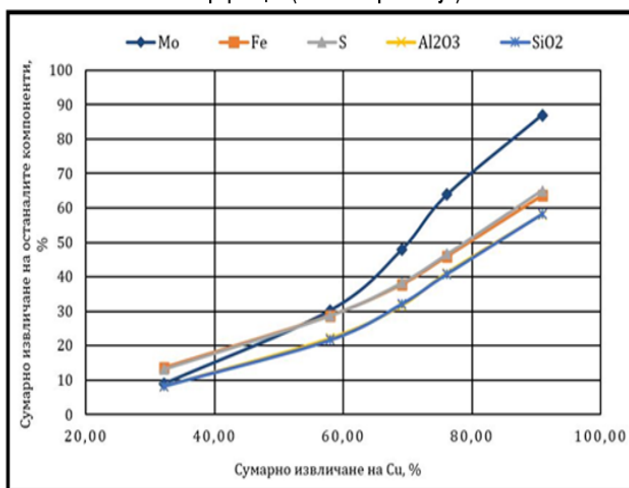
На фигури V.4 и V.9 са представени зависимостите между сумарното извличане на медта и сумарното извличане на останалите компоненти в добитите концентрати.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНЕНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.4. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация

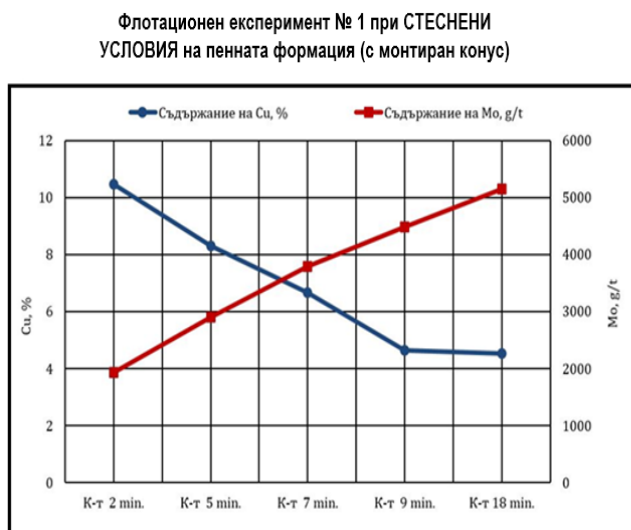
Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)



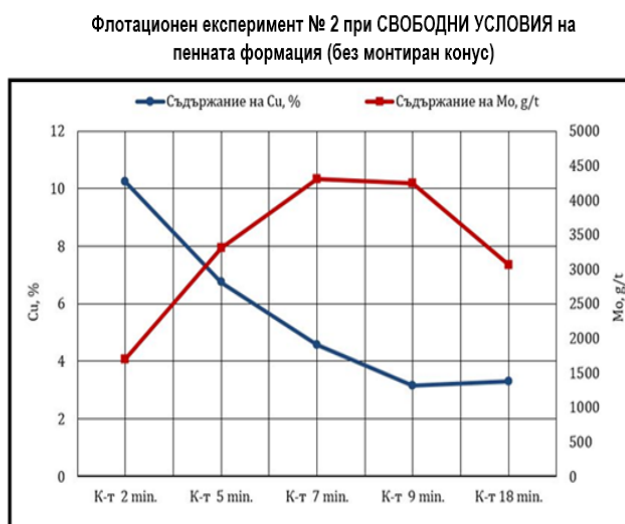
Фигура V.9. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация

Кривите на селективност при свободни и стеснени условия на пенната формация ясно показват, че при стеснени условия се реализира по-добра селективност, благодарение на вторичната концентрация в пенната, което води до получаването на по-висококачествен концентрат. Извличането на пирита и скалните примеси в общия концентрат от основна медна флотация при стеснени условия е с около 10 % по-ниско, в сравнение с това при свободни условия. Кривите на селективност ясно показват, че при основна медна флотация извличането на пирит и скални примеси е два пъти по-малко, отколкото извличането на медните минерали.

На фигури V.5 и V.10 са показани зависимостите на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати от времето на флотация.



Фигура V.5. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати



Фигура V.10. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати

При стеснени условия на пенната формация се реализира по-малка обща повърхност, което води до увеличаване височината на пенния стълб. Реализира се допълнително процес на вторична концентрация в пенната формация. Създават се условия на конкурентост между хидрофобните и хидрофилните минерални частици с цел оставане в обема на пенната, което води до получаването на по-чист концентрат.

#### IV.1.2.2. Изучаване влиянието на съдържанието на остатъчен калциев оксид (CaO) върху ефективността на флотационния процес

Проведени са серия от флотационни експерименти, при които съдържанието на остатъчен калциев оксид (CaO) е поддържано и контролирано в определени граници, в зависимост от характеристиката на изходния пулп, постъпващ на основна и/или контролна медна флотация. Тестовите са реализирани при различни съдържания на остатъчен калциев оксид (CaO, mg/l), с реална моментна проба (слив от хидроциклон в цикъла на досмилане) в условията на ОФ „Асарел“.

##### ❖ Флотационен експеримент № 1

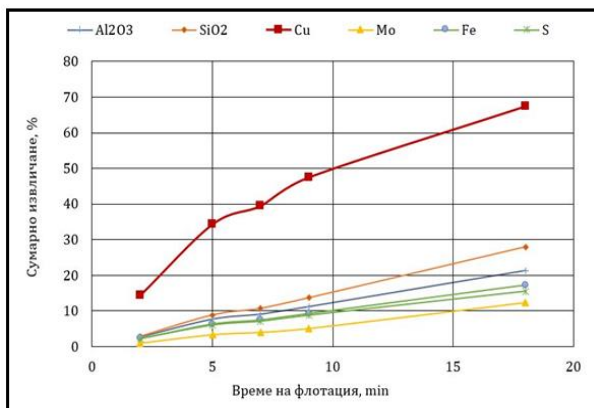
В Таблица V.18 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина *PneufLOT*.

Таблица V.18. Условия на флотационния експеримент

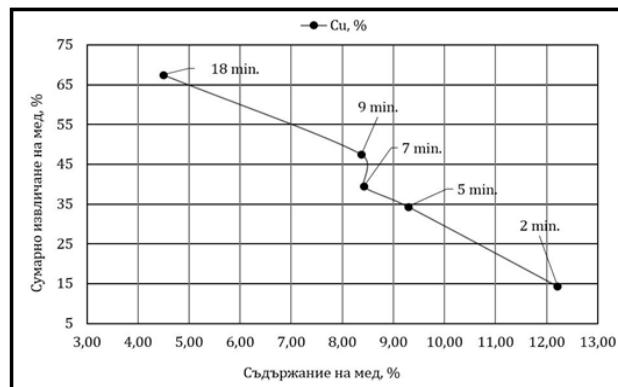
| №  | Параметри                 |         |
|----|---------------------------|---------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза | 30.00 % |
| 2. | pH на пулпа               | 12.57   |
| 3. | Дебит на захранващия пулп | 350 l/h |

|    |                                             |                                                                  |
|----|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                          |
| 5. | Размера на захранващите дюзи                | 2.70 mm                                                          |
| 6. | Височината на пенната формация              | 60 mm                                                            |
| 7. | Стеснени условия в пенната формация         | ✓                                                                |
| 8. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 1045 mg/l                                                        |
| 9. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация: 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

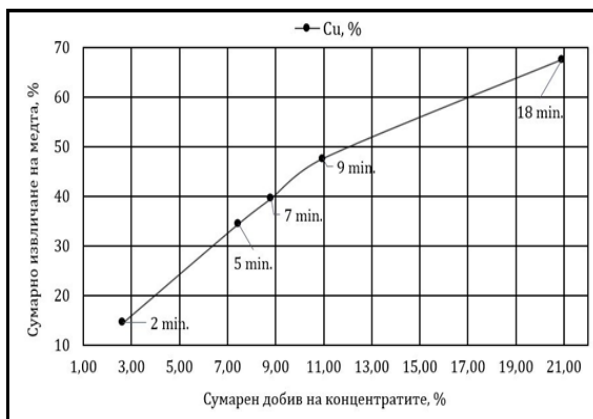
На Фигури V.11–V.14 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



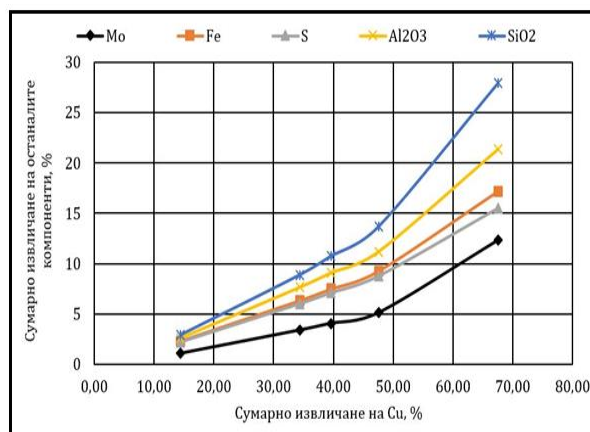
**Фигура V.11. Кинетика на флотационния процес**



**Фигура V.12. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати**



**Фигура V.13. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделните флотационни концентрати**



**Фигура V.14. Cu / Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**

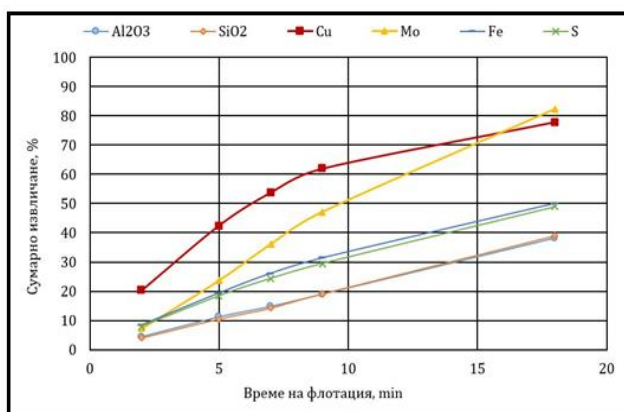
#### ❖ Флотационен експеримент № 2

В Таблица V.22 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина *Pneufлот*.

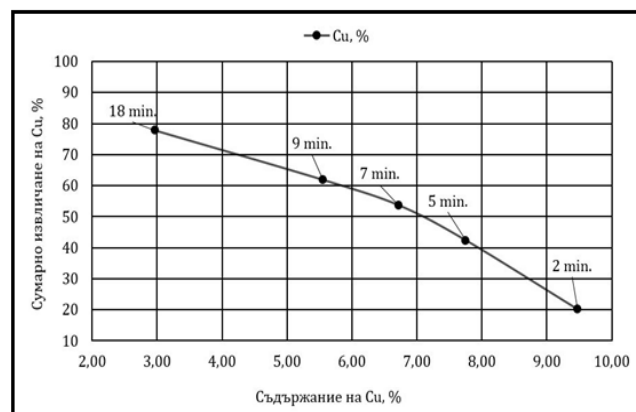
Таблица V.22. Условия на флотационния експеримент

| №  | Параметри                                   |                                                                 |
|----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза                   | 33.00 %                                                         |
| 2. | pH на пулпа                                 | 12.33                                                           |
| 3. | Дебит на захранващия пулп                   | 350 l/h                                                         |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5. | Размера на захранващите дюзи                | 2.70 mm                                                         |
| 6. | Височината на пенната формация              | 80 mm                                                           |
| 7. | Стеснени условия в пенната формация         | √                                                               |
| 8. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 700 mg/l                                                        |
| 9. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

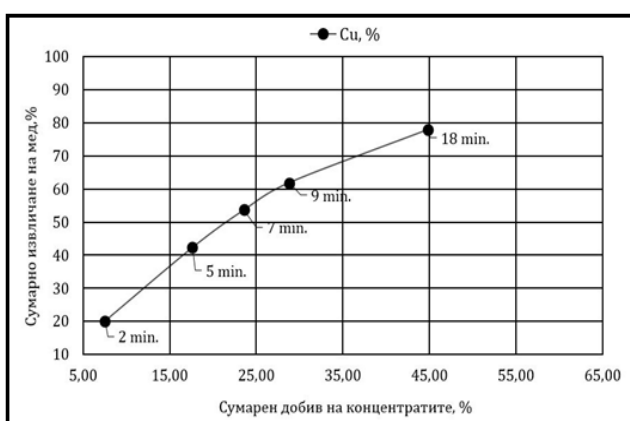
На Фигури V.15 - V.19 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



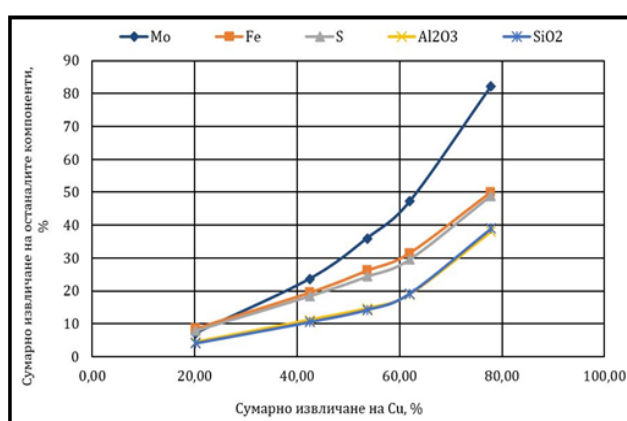
Фигура V.15. Кинетика на флотационния процес



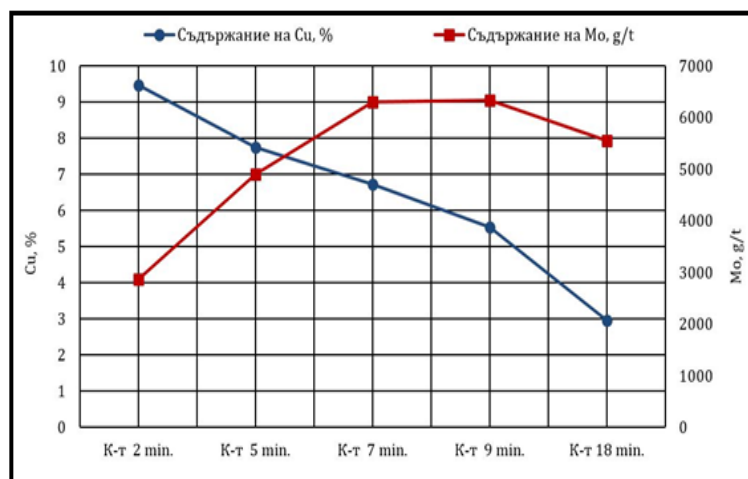
Фигура V.16. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати



Фигура V.17. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати



Фигура V.18. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация



Фигура V.19. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати

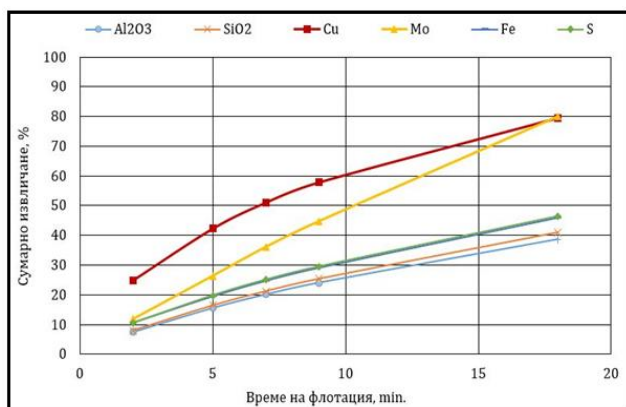
### ❖ Флотационен експеримент № 3

В Таблица V.26 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина *Pneufлот*.

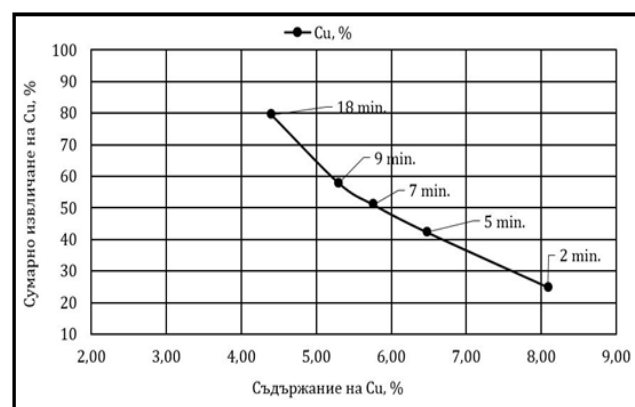
Таблица V.26. Условия на флотационния експеримент

| №  | Параметри                                   |                                                                 |
|----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза                   | 32.00 %                                                         |
| 2. | pH на пулпа                                 | 12.40                                                           |
| 3. | Дебит на захранващия пулп                   | 350 l/h                                                         |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5. | Размера на захранващите дюзи                | 2.70 mm                                                         |
| 6. | Височината на пенната формация              | 75 mm                                                           |
| 7. | Стеснени условия в пенната формация         | √                                                               |
| 8. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 660 mg/l                                                        |
| 9. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

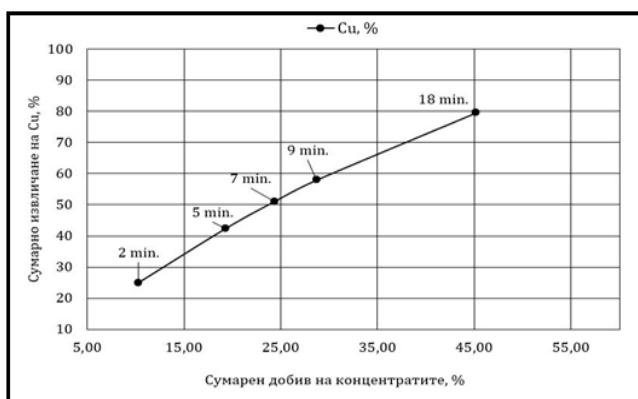
На Фигури V.20-V.24 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



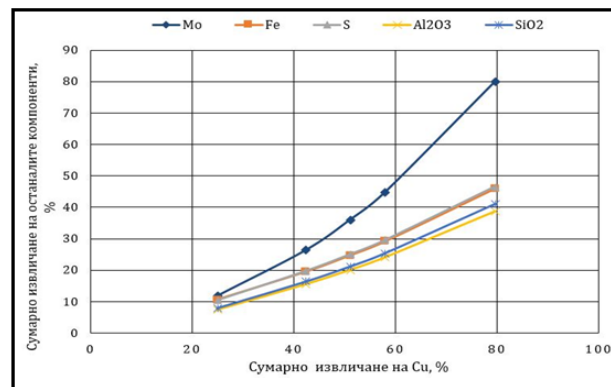
Фигура V.20. Кинетика на флотационния процес



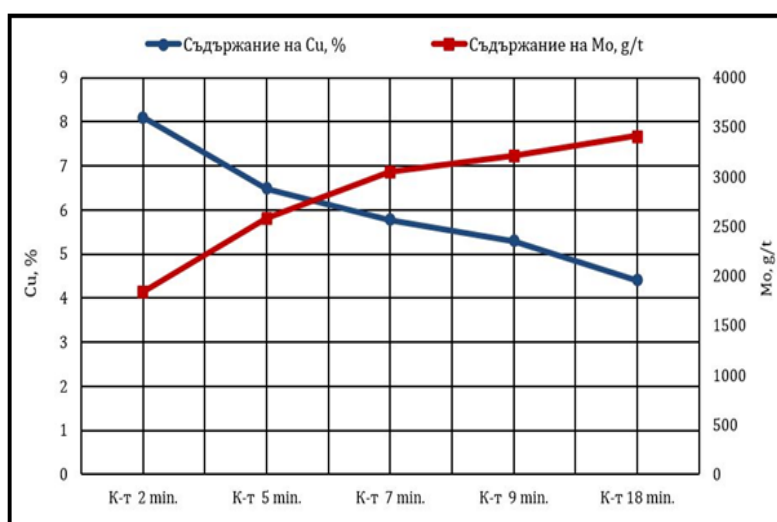
Фигура V.21. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати



**Фигура V.22. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделните флотационни концентрати**



**Фигура V.23. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**



**Фигура V.24. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати**

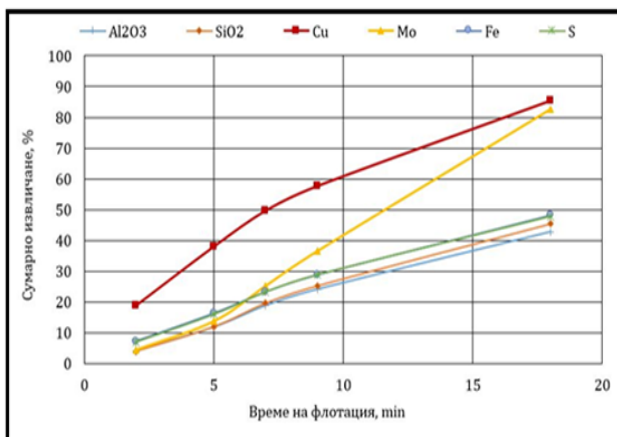
#### ❖ Флотационен експеримент № 4

В Таблица V.30 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина *Pneufлот*.

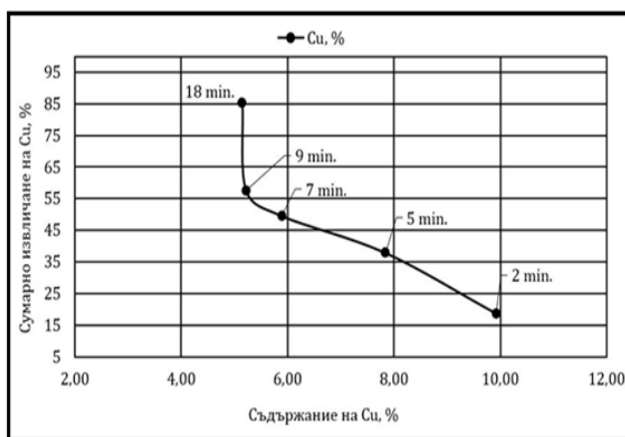
*Таблица V.30. Условия на флотационния експеримент*

| №  | Параметри                                   |                                                                 |
|----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза                   | 30.00 %                                                         |
| 2. | pH на пулпа                                 | 12.66                                                           |
| 3. | Дебит на хранявания пулп                    | 350 l/h                                                         |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5. | Размера на хранящите дюзи                   | 2.70 mm                                                         |
| 6. | Височината на пенната формация              | 80 mm                                                           |
| 7. | Стеснени условия в пенната формация         | ✓                                                               |
| 8. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 704.80 mg/l                                                     |
| 9. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

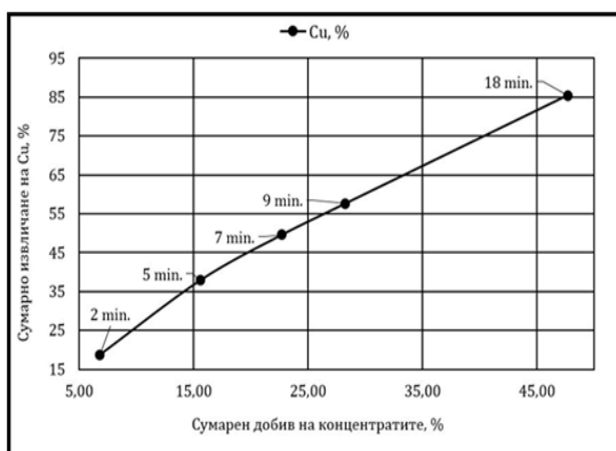
На Фигури V.25-V.29 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



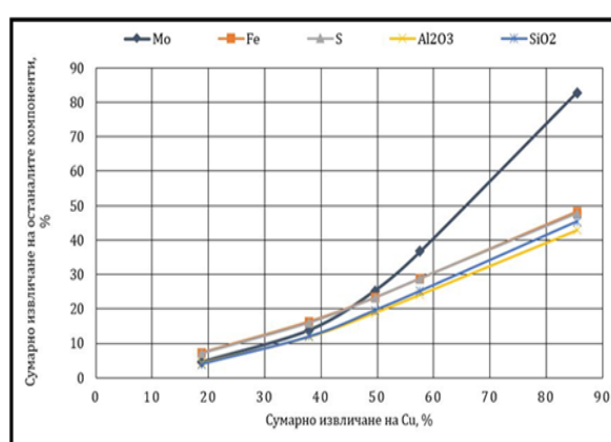
Фигура V.25. Кинетика на флотационния процес



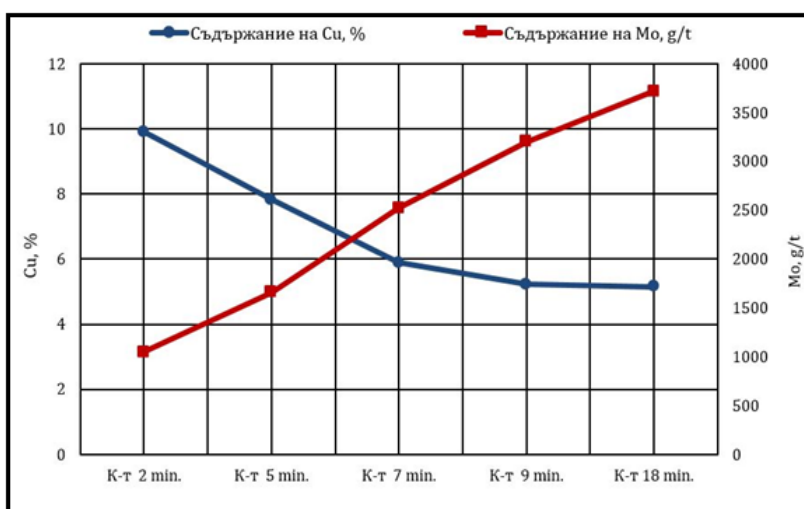
Фигура V.26. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати



Фигура V.27. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделните флотационни концентрати



Фигура V.28. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация



Фигура V.29. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати

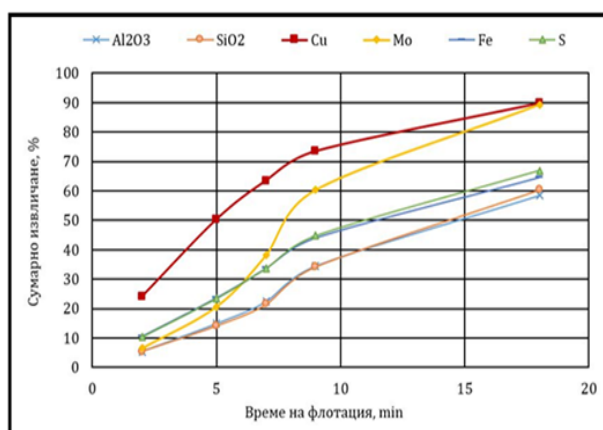
#### ❖ Флотационен експеримент № 5

В Таблица V.34 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина *Pneufлот*.

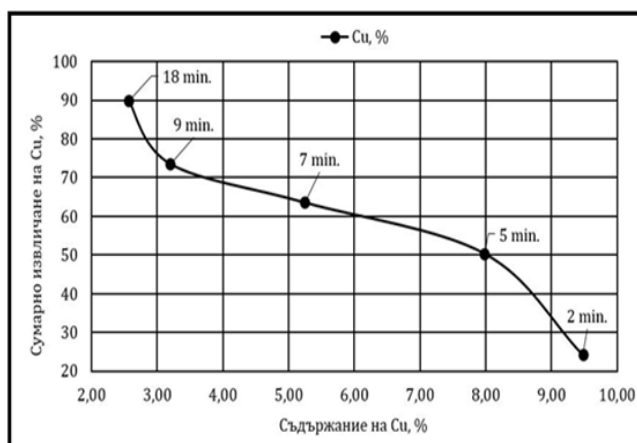
Таблица V.34. Условия на флотационния експеримент

| №  | Параметри                                   |                                                                 |
|----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза                   | 35.00 %                                                         |
| 2. | pH на пулпа                                 | 12.30                                                           |
| 3. | Дебит на захранващия пулп                   | 350 l/h                                                         |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5. | Размера на захранващите дюзи                | 2.70 mm                                                         |
| 6. | Височината на пенната формация              | 80 mm                                                           |
| 7. | Стеснени условия в пенната формация         | √                                                               |
| 8. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 677.00 mg/l                                                     |
| 9. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

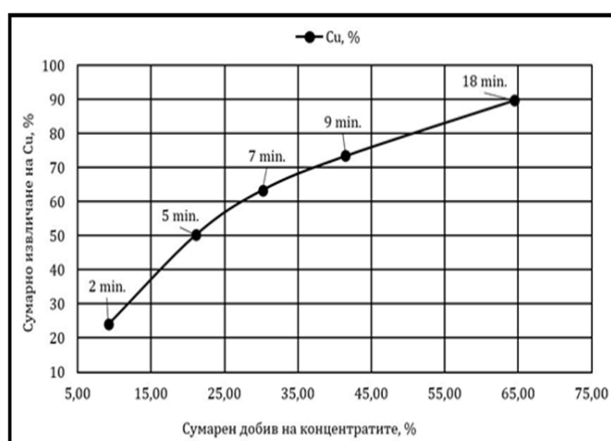
На Фигури V.30-V.34 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



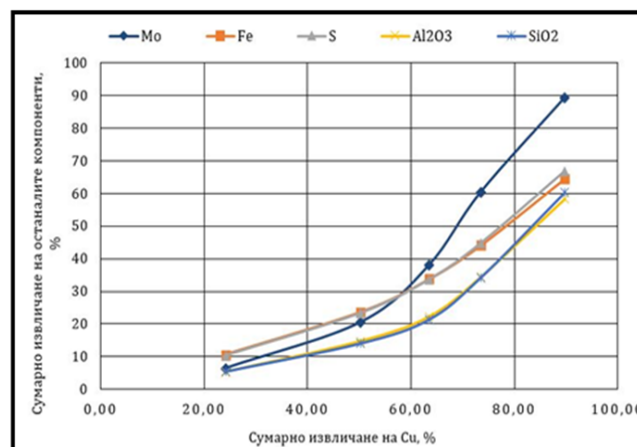
Фигура V.30. Кинетика на флотационния процес



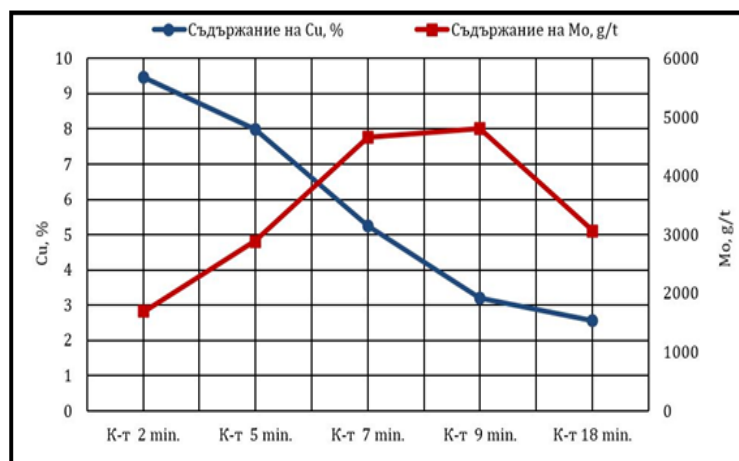
Фигура V.31. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати



Фигура V.32. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати



Фигура V.33. Cu/Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация



**Фигура V.34. Кинетика на съдържанието на мед и молибден в добитите концентрати**

Високото съдържание на остатъчен калциев оксид в изходния пулп (слив от хидроциклон в цикъла на досмилане), довежда до ниски добиви на получените концентрати, но за сметка на по-високи съдържания на мед в тях.

Поддържането на оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид ( $\text{CaO}$ ), в границите на 650 – 700 mg/l, в основна флотация води до приблизително 30 % добив на концентрат в основна флотация, с високо съдържание на мед (Cu) – 7.59 %.

Получените технологични резултати за флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане показват, че при поддържане на оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид, в основна и контролна медна флотация се получава по-високо извличане на мед и молибден от контролна флотация с приблизително 10 %, в сравнение с извличането, при поддържане на оптимална концентрация на остатъчен калциев оксид само в основна медна флотация.

Поддържането на оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид в основна и контролна медна флотация води до съдържание на мед в крайния отпадък 1.00 % и общо извличане на мед и молибден около 90 %.

Кривите на селективност ясно показват ефективното протичане на селективността на флотационния процес (депресиран пирит). Очевидно хидродинамичните условия във флотационната машина *Pneufлот* създават предпоставка и за добро разделяне на медните минерали и молибденита от скалните примеси ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ ), при флотацията на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане.

Кинетиката на съдържанието на Cu и Mo в добитите концентрати показва, че медните минерали основно флотират първите 7 min, а молибденитът активно започва да флотира след 5 min. Трябва да се отбележи, че съдържанието на молибден в концентратите от 7 и 9 min достига до над 6000 g/t. Очевидно хидродинамичните условия във флотационна машина *Pneufлот* дават възможност за флотирание на фините молибденитови частици. Необходимо е да се отбележи, че флотирането на молибденита и получаването на концентрат със съдържание на молибден над 6000 g/t, се реализира само благодарение на оптималните хидродинамични условия за флотация на фини частици. Лабораторните флотационни експерименти са проведени без съответните реагенти за активиране на молибденита, т.е. не са създадени подходящи физикохимични условия за флотация на молибденита.

#### IV.1.3. Изследване влиянието на реагента MINFIT върху технологичните показатели, в условията на флотация с лабораторна флотационна машина PNEUFLOT

Реагентът MINFIT представлява комплекс от модифицирани сулфити, разработен специално за депресиране на желязни сулфидни минерали (пирит, пиротин, марматит и други).

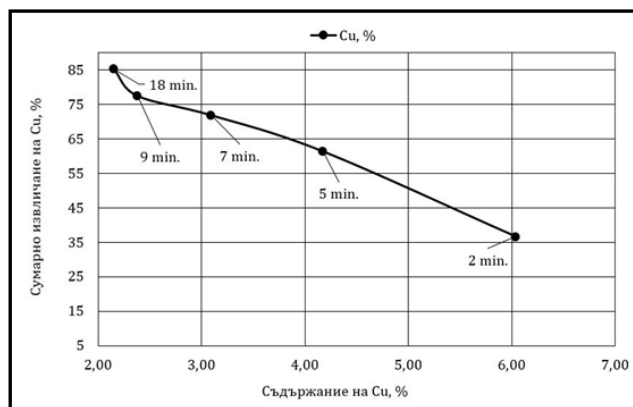
##### ЕКСПЕРИМЕНТ № 1

В Таблица V.38 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина PNEUFLOT.

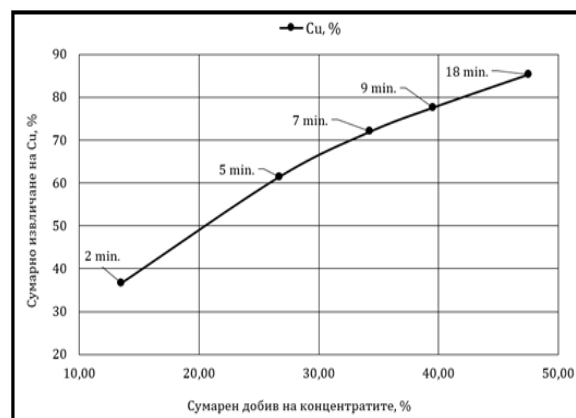
Таблица V.38. Условия на флотационния експеримент

| №   | Параметри                                   |                                                                 |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | Съдържание на твърда фаза                   | 32.00 %                                                         |
| 2.  | pH на пулпа                                 | 11.76                                                           |
| 3.  | Дебит на захранващия пулп                   | 350 l/h                                                         |
| 4.  | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5.  | Размер на захранващите дюзи                 | 2.70 mm                                                         |
| 6.  | Височина на пенната формация                | 70 mm                                                           |
| 7.  | Стеснени условия в пенната формация         | ✓                                                               |
| 8.  | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 588.00 mg/l                                                     |
| 9.  | Разход на MINFIT                            | 200 g/t                                                         |
| 10. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

Зависимостта между извличането на мед и сумарния добив, както и зависимостта между извличането на мед и съдържанието на мед в добитите концентрати са линейни във времето (фиг. V. 36 и фиг. V.37).

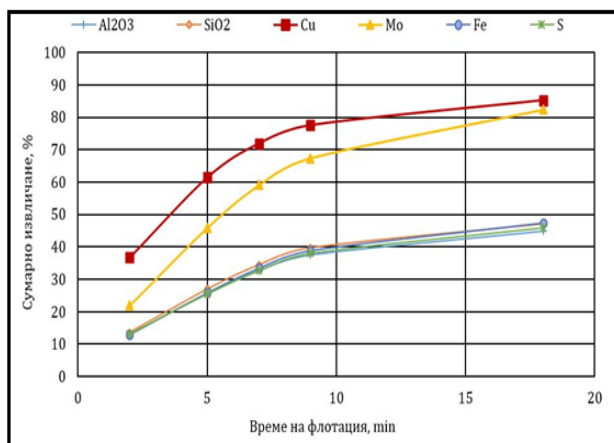


Фигура V.36. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати

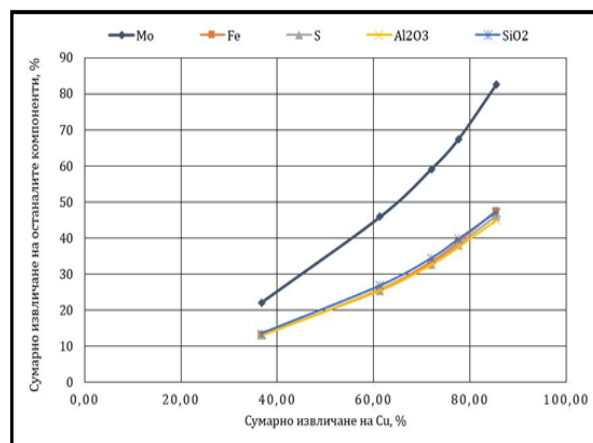


Фигура V.37. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати

На Фигури V.35 и V.38 са представени резултати от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



**Фигура V.35. Кинетика на флотационния процес**



**Фигура V.38. Cu / Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**

Кинетиката на флотационния процес, представен на Фиг. V.35 показва, че в основна флотация, халкопиритът и молибденитът флотират с еднаква активност. При контролна флотация, флотируемостта и на двата минерала затихва с времето при извличане над 80 %. Ясно се вижда депресирацията ефект на реагента MINFIT върху пирита.

На Фиг. V.38, ясно се наблюдава ефективното протичане на селективността на флотационния процес (депресиран пирит), дължащо се на използвания реагент депресант. Трябва да се отбележи, че съдържанието на мед в крайния отпадък е 0.62 %.

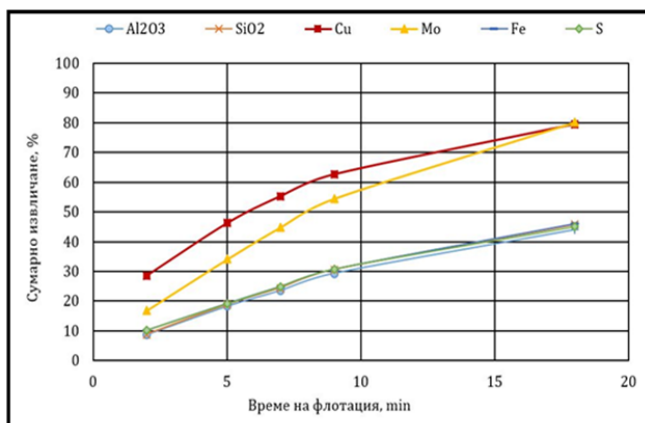
## ЕКСПЕРИМЕНТ № 2

В Таблица V.42 са представени условията на проведения флотационен експеримент с лабораторна машина PNEUFLOT.

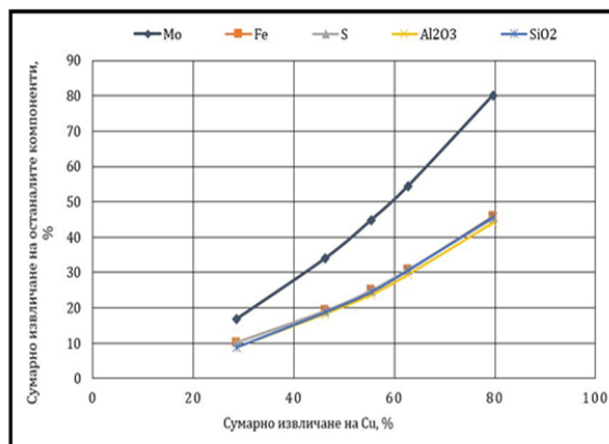
Таблица V.42. Условия на флотационния експеримент

| №   | Параметри                                   |                                                                 |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | Съдържание на твърда фаза                   | 32.00 %                                                         |
| 2.  | pH на пулпа                                 | 12.19                                                           |
| 3.  | Дебит на храняващия пулп                    | 350 l/h                                                         |
| 4.  | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                                                         |
| 5.  | Размер на храняващите дюзи                  | 2.70 mm                                                         |
| 6.  | Височина на пенната формация                | 70 mm                                                           |
| 7.  | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 590.18 mg/l                                                     |
| 8.  | Стеснени условия в пенната формация         | √                                                               |
| 9.  | Разход на MINFIT                            | 200 g/t                                                         |
| 10. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 2, 5, 7 и 9 min.<br>Контролна флотация 18 min. |

На Фигури V.39 и V.42 са представени резултатите от проведените флотационни тестове при основна медна (9 min) и контролна медна флотация (9 min).



**Фигура V.39. Кинетика на флотационния процес**



**Фигура V.42. Cu / Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**

Ефектът на реагента депресор MINFIT ясно се вижда от Фигури V.35, V.38, V.39 и V.42. При разход на реагент депресор 200 g/t и хидродинамични условия на флотационната машина PNEUFLOT, флотационният процес протича при много добра селективност спрямо пирита. В същото време съдържанието на мед в крайния отпадък е в границите на 0.6 и 0.82 %, а съдържанието на Mo е около 230 g/t.

#### IV.1.4. Лабораторни тестове на флотационна машина PNEUFLOT с отпадък от контролна медна флотация

Проведени са лабораторни флотационни тестове с реална моментна проба отпадък от контролна медна флотация. Проведени са два вида флотационни тестове:

- ❖ С монтиран конус – при стеснени условия от намалена обща повърхност на пенната формация;
- ❖ Без конус – при свободни условия, обезпечени от голяма обща повърхност на пенната формация;

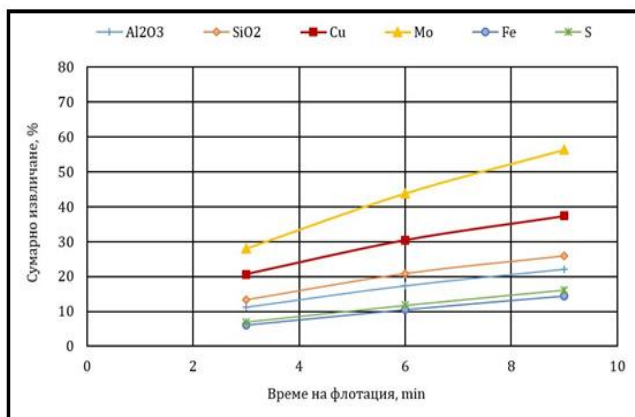
#### ЕКСПЕРИМЕНТ №1 – с монтиран конус

В Таблица V.46 са представени условията на проведения флотационен експеримент с отпадък от контролна медна флотация.

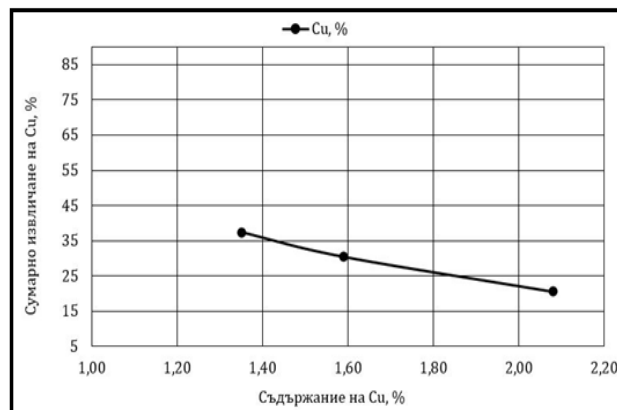
*Таблица V.46. Условия на флотационния експеримент*

| №  | Параметри                                   |                                 |
|----|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза                   | 16.00 %                         |
| 2. | pH на пулпа                                 | 12.60                           |
| 3. | Дебит на захранващия пулп                   | 350 l/h                         |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух                | 300 l/h                         |
| 5. | Размер на захранващите дюзи                 | 2.70 mm                         |
| 6. | Височина на пенната формация                | 50 mm                           |
| 7. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 990.00 mg/l                     |
| 8. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация: 3, 6 и 9 min. |

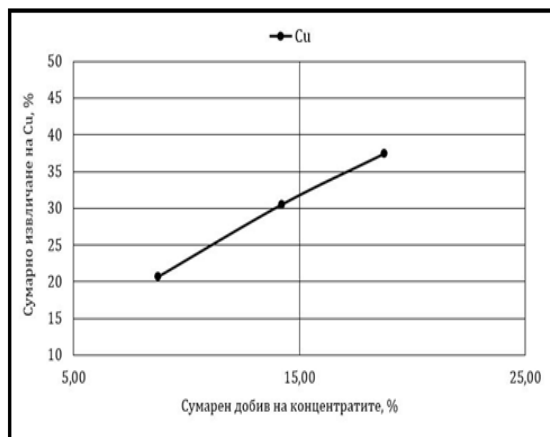
На Фигури V.43 – V.46 са представени резултатите от проведения флотационен тест.



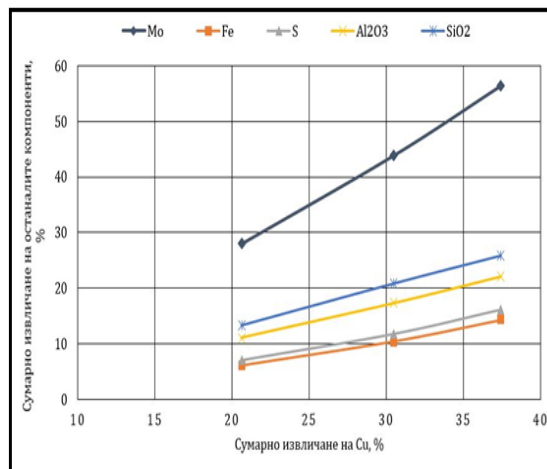
**Фигура V.43. Кинетика на флотационния процес**



**Фигура V.44. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати**



**Фигура V.45. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати**



**Фигура V.46. Cu / Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**

Получените експериментални резултати показват, че с флотационната машина *Pneufлот* се постига добра селективност на флотационния процес при флотация на отпадък от контролна медна флотация. Извличането на мед е повече от 3 пъти по-високо от извличането на пирита – добра депресия на пирита в създадените хидродинамични условия. В същото време се постига високо съдържание на молибден в общия концентрат – над 6000 g/t при добив 18.75 %, без използването на подходящи реагенти за флотация на молибденит.

## ЕКСПЕРИМЕНТ № 2 – без монтиран конус

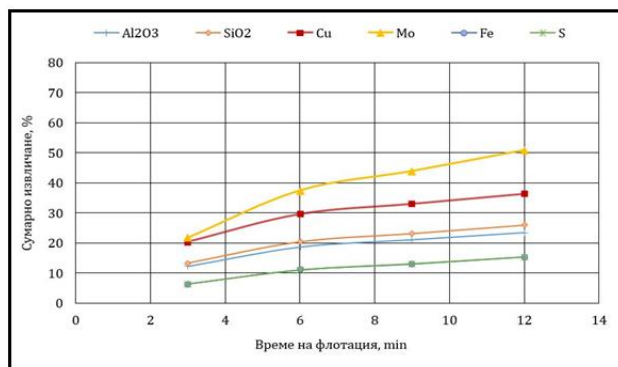
В Таблица V.48 са представени условията на проведения флотационен експеримент с отпадък от контролна медна флотация.

**Таблица V.48. Условия на флотационния експеримент**

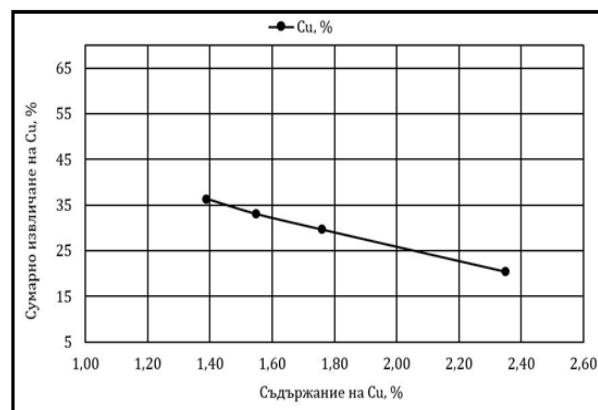
| №  | Параметри                    |         |
|----|------------------------------|---------|
| 1. | Съдържание на твърда фаза    | 16.00 % |
| 2. | pH на пулпа                  | 12.51   |
| 3. | Дебит на захранващия пулп    | 350 l/h |
| 4. | Дебит на нагнетявания въздух | 300 l/h |
| 5. | Размер на захранващите дюзи  | 2.70 mm |

|    |                                             |                                    |
|----|---------------------------------------------|------------------------------------|
| 6. | Височина на пенната формация                | 65 mm                              |
| 7. | Съдържание на остатъчен калциев оксид (CaO) | 890.00 mg/l                        |
| 8. | Дробно снемане на пяна                      | Основна флотация 3, 6, 9 и 12 min. |

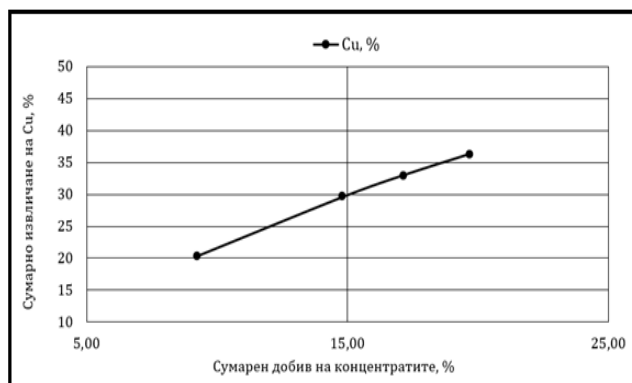
На Фигури V.47 – V.50 са представени резултатите от проведения флотационен тест.



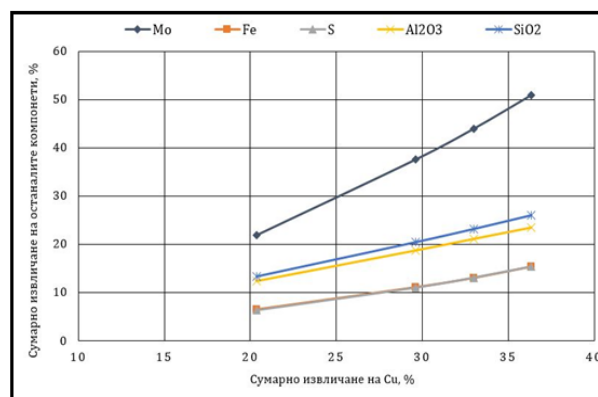
**Фигура V.47. Кинетика на флотационния процес**



**Фигура V.48. Зависимост между извличането и съдържанието на мед в добитите концентрати**



**Фигура V.49. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделените флотационни концентрати**



**Фигура V.50. Cu / Mo, Fe, S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> селективност, като функция от времето на флотация**

Получените експериментални резултати потвърждават добра селективност - извличането на пирит е с повече от 3 пъти ниско от това на медта и се постига извличане на молибден над 50 %, при флотация на отпадък от контролна флотация.

Кривите на селективност (Фиг. V.47 и V.50), ясно показват ефективното протичане на селективността на флотационния процес (депресиран пирит). Прави силно впечатление високото съдържание на молибден в общия концентрат – над 6000 g/t при добив 18.75 %, без използването на подходящи реагенти за флотация на молибденит. Получаването на тези резултати относно флотацията на молибденита се дължат само на оптималните хидродинамични условия за флотация на много фини частици, реализирани в конструкцията на флотационната машина PNEUFLOT.

#### IV.1.5. Охарактеризиране на крайните продукти, получени при лабораторните експерименти с флотационна машина *Pneufлот*

За изучаване поведението на молибденита и формата му на присъствие в определени концентрати и отпадъци, получени при лабораторните изследвания с флотационна машина *Pneufлот* са проведени XRF (РФА) и минераложки изследвания по фракции, представени в Приложения I – VI към дисертационния труд.

Минераложки изследвания са проведени с цел установяване поведението на молибденита, формата му на присъствие и разпределение по фракции. Резултатите от минераложките и РФА анализи по класи на някои концентрати и отпадъци, получени при лабораторните флотационни изследвания със слив от хидроциклон в цикъла на досмилане са в добро съгласие с получените технологични резултати.

Резултатите от РФА и минераложки анализи, потвърждават установените закономерности за флотацията на молибденита с флотационна машина *Pneufлот*. Със създадените хидродинамични условия фините молибденитови частици флотират в по-голямата си част. Естествено има загуби на молибденит в крайния отпадък. Тези загуби могат да бъдат сведени до минимум и да се реализира изключително ефективна флотация на молибденит с използването на подходящ реагентен режим.

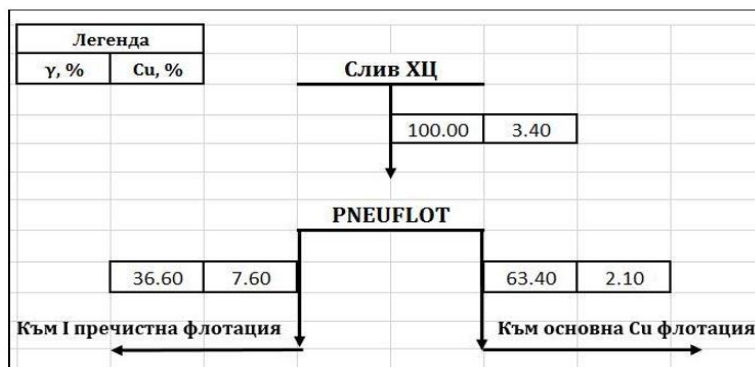
Резултатите от РФА и минераложки анализи, показват че в отпадъка от контролна флотация се съсредоточава значително количество молибденит. Съдържанието на Мо във фината фракция на концентрата от 3 min е над 9000 g/t, като се реализират известни загуби в отпадъка. Естествено тези загуби могат да се минимизират, като към отличните хидродинамични условия за флотация на фини частици във флотационната машина *Pneufлот* се създадат съответните физикохимични условия с подходящ реагентен режим за флотация на молибденит.

#### IV.1.6. Възможности за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на Обогатителна фабрика преработваща меднопорфирни руди

Основавайки се на получените резултати от проведените лабораторни изследвания, с флотационна машина *Pneufлот*, са налични следните технологични възможности, за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на ОФ „Асарел“:

##### Вариант 1. Флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт

На Фигура V.59 схематично е представена флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с флотационна машина *Pneufлот*.



Фигура V.59. Схема на флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с флотационна машина *Pneufлот*

За постигане на 36.60 % добив на меден концентрат със съдържание на мед (Cu) 7.60 %, постъпващ на първа пречистна флотация е необходимо време на флотация от 9 min.

Отпадъкът с добив 63.4 % и съдържание на мед 2.1 %, постъпва на основна медна флотация. При реализиране на вариант 1, количеството на продукта, постъпващ на основна медна флотация намалява с 11 % (стойността е получена въз основа на изчислени данни). Редуцирането на междинния продукт, постъпващ на основна медна (Cu) флотация ще увеличи времето на флотация в операциите - основна и контролна медна флотация. Това ще създаде предпоставки за намаляване съдържанието на мед в отпадъка от основна медна флотация.

## Вариант 2. Флотация на отпадък от контролна медна флотация с флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт

На Фигура V.60 е илюстрирана схема на флотация на отпадъка от контролна медна флотация с флотационна машина *Pneufлот*. Вариант 2 би могъл да се реализира при преработването на руда с високо съдържание на молибден.



**Фигура V.60. Схема на флотация на отпадък от контролна медна флотация с флотационна машина *Pneufлот***

Медно-молибденовият концентрат със съдържание на молибден и мед, съответно 6200 g/t и 1.80 %, постъпва на медно-молибденова селекция. С цел постигане на 18.70 % добив е необходимо време на флотация от 9 min.

Отпадъкът с добив 80.3 %, съдържание на мед 0.68, съдържание на молибден 1100 g/t постъпва на контролна флотация на колективно пречистна флотация. При реализиране на Вариант 2 количеството на продукта връща се в контролна флотация на колективно пречистната флотация, ще се редуцира с 18.7 % (стойността е получена въз основа на изчислени данни). Намаляването на количеството на този продукт ще увеличи времето на флотация в контролна флотация на колективно пречистната флотация.

Въз основа на получените експериментални резултати са предложени две технологични възможности за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“:

- Флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с флотационна машина *Pneufлот*;
- Флотация на отпадък от контролна медна флотация с флотационна машина *Pneufлот*;

Тези технологични алтернативи, биха могли да се реализират, след включване на полупромишлен прототип на флотационната машина *Pneufлот* в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“ и провеждане полупромишлени тестове.

#### IV.2. Изследване възможностите на метод на флотация с предварителен контакт за извличане на цинк, сребро, олово и мед от междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек

За изучаване обогатимостта на цинковия кек и оценка възможностите за извличане на цинк, сребро, олово и мед от цинковия кек преди пирометалургичния Велц процес са проведени серия лабораторни флотационни експерименти с флотационна машина *Pneufлот*, в технологичната верига на КЦМ АД, гр. Пловдив.

##### IV.2.1. Лабораторни тестове за изследване влиянието на техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели

Следните технически параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот* бяха изследвани: дебит на захранващия пулп, дебит (разход) на нагнетявания въздух, размер на захранващите дюзи, височина на пенната формация.

Техническите параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот* са изучавани при стендови условия, при провеждане на основна флотация (9 min). В таблица V.66 са представени оптималните технически параметри на флотационна машина *Pneufлот* за междинен хидрометалургичен продукт цинков кек.

Таблица V.66. Оптимални технически параметри на флотационна машина *Pneufлот* за междинния продукт – цинков кек

| Параметри                 |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Време на флотация         | Основна флотация - 9 min. |
| Дебит на захранващия пулп | 350 l/h                   |
| Разход на въздух          | 300 l/h                   |
| Размер на захранващи дюзи | 2.7 mm                    |
| Височина на пенен слой    | 80 mm                     |
| Обем на изходен пулп      | 50 l                      |

Проведените изследвания за определяне на техническите параметри на флотационната машина *Pneufлот* за конкретния продукт *междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек*, показват възможностите на флотационна машина *Pneufлот*. При реализиране на основна флотация с продължителност 9 min са получени концентрати със следните добиви и съдържания, обобщени в Таблица V.67:

Таблица V.67. Обобщени технологични показатели за получените концентрати

| Компонент | Съдържание, % (g/t) |        |        |        | Добив на к-т, % |        |        |        |
|-----------|---------------------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|
|           | Тест 1              | Тест 2 | Тест 3 | Тест 4 | Тест 1          | Тест 2 | Тест 3 | Тест 4 |
| <b>Ag</b> | 271.51              | 300.67 | 416.34 | 422.21 | 38.07           | 32.67  | 21.65  | 22.50  |
| <b>Cu</b> | 1.10                | 0.89   | 1.60   | 1.67   |                 |        |        |        |
| <b>Pb</b> | 5.04                | 4.18   | 5.63   | 3.54   |                 |        |        |        |
| <b>Zn</b> | 18.15               | 20.08  | 16.92  | 16.46  |                 |        |        |        |

Извличането на сребро (Ag), мед (Cu), олово (Pb) и цинк (Zn) в добитите флотационни концентрати е обобщено в Таблица V.68.

Таблица V.68. Извличане на съответните компоненти в добитите флотационни концентрати

| Компонент | Извличане, % |        |        |        |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|
|           | Тест 1       | Тест 2 | Тест 3 | Тест 4 |
| <b>Ag</b> | 59.82        | 59.95  | 56.35  | 57.34  |
| <b>Cu</b> | 42.04        | 41.58  | 26.79  | 31.83  |
| <b>Pb</b> | 43.69        | 40.59  | 28.00  | 31.48  |
| <b>Zn</b> | 36.59        | 33.77  | 19.47  | 21.25  |

Проведените лабораторни флотационни изследвания за установяване на оптималните технически параметри на пневматична флотационна машина *Pneufлот*, при флотация на *междинен хидрометалургичен продукт* - цинков кек показват, че е възможно извличане на сребро (Ag) в границите на 56 – 60%.

#### IV.2.2. Лабораторни тестове на флотационна машина *Pneufлот* с оптимизирани технически параметри

Извършени са лабораторни флотационни тестове с поддържане на оптималните технически параметри, обобщени в таблица V.66. С цел по-качествена и пълна интерпретация на технологичните резултати са построени следните графични зависимости:

- ❖ Кинетика на флотационния процес;
- ❖ Зависимост между извличането и съдържанието на сребро (Ag) в добитите концентрати;
- ❖ Зависимост между извличането на сребро и добива на получените концентрати;

##### IV.2.2.1. Изследване влиянието на pH на пулпа и разходът на избраните флотационни реagenти върху ефективността на флотационния процес

На база извършения литературен обзор, бяха избрани следните комбинации от различни типове високоселективни флотационни реагенти - събиратели и депресори. В таблици V.69 и V.70 са представени използваните флотационни реагенти събиратели (колектори) и депресори, техния разход (g/t) и експерименталните условия (pH на средата, както и процентът %/ твърда фаза).

Таблица V.69. Флотационни реagenти – събиратели (g/t)

| Флотационен експеримент | Твърда фаза, % | pH на пулпа | Разход на флотационен реагент събирател, g/t |                  |           |
|-------------------------|----------------|-------------|----------------------------------------------|------------------|-----------|
|                         |                |             | FloMin C 4146                                | AEROPHINE 3418 A | AERO 5688 |
| Експеримент №1          | 30.00          | 4.50        | 80.00                                        | -                | -         |
| Експеримент №2          | 30.00          | 5.50        | -                                            | 80.00            | -         |
| Експеримент №3          | 30.00          | 6.00        | -                                            | -                | 80.00     |

Флотационният реагент **FloMin C 4146** е селективен събирател (тионокарбамат), който широко се използва при флотация на руди, съдържащи мед (Cu), сребро (Ag) и злато (Au).

Флотационният реагент **Aerophine 3418 A Promoter** представлява модифициран дитиофосфинат, подходящ за флотация на медни, цинкови и оловни минерали, както и на благородни метали - злато и сребро.

Флотационният реагент **Aero 5688** е селективен събирател (монотиофосфат), за сулфидни минерали и благородни метали (Au, Ag), прилага се при pH на флотационния пулп от 3.00 – 7.00.

Таблица V.70. Флотационни реагенти – депресори (g/t)

| Флотационен експеримент | Твърда фаза, % | pH на пулпа | Разход на флотационен реагент депресор, g/t |               |               |
|-------------------------|----------------|-------------|---------------------------------------------|---------------|---------------|
|                         |                |             | FloMin TD 912                               | Aero 7260 GCA | Pionera F 250 |
| Експеримент №1          | 30.00          | 4.50        | 14.00                                       | -             |               |
| Експеримент №2          | 30.00          | 5.50        |                                             | 18.00         |               |
| Експеримент №3          | 30.00          | 6.00        |                                             | -             | 20.00         |

Флотационният реагент **FloMin TD 912** е реагент депресор (калциев лигносулфонат) на пирит и други железни минерали. Флотационният реагент **Aero 7260 GCA** представлява реагент депресор (модифициран полиакриламид) на железни минерали. Флотационният реагент **Pionera F 250** е реагент депресор (биополимер) на Fe/S съдържащи минерали.

Поддържането на необходимото pH на флотационния пулп се постига, чрез използване на 20% суспензия на хидратна вар и концентрирана сярна киселина.

Получените технологични резултати от флотационните експерименти показват, че максималното извличане на сребро (Ag), мед (Cu), олово (Pb) и цинк (Zn) се постига при следните експериментални условия:

- ❖ pH на флотационния пулп - **5.50**
- ❖ Флотационни реагенти:
  - Реагент събирател **AEROPHINE 3418 A** – 80.00 g/t
  - Реагент депресор **AERO 7260 GCA** – 18.00 g/t
  - Реагент пенообразувател **DOWFROTH 200** – 100 g/t
- ❖ Съдържание на твърда фаза – **30.00 %**

Таблица V.74. Извличане на съответните компоненти в добитите флотационни концентрати

| Компонент | Извличане, %   |                |                |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
|           | Експеримент №1 | Експеримент №2 | Експеримент №3 |
| <b>Ag</b> | 52.98          | <b>57.88</b>   | 49.16          |
| <b>Cu</b> | 33.74          | <b>36.56</b>   | 35.90          |
| <b>Pb</b> | 34.65          | <b>46.57</b>   | 33.80          |
| <b>Zn</b> | 29.84          | <b>33.07</b>   | 28.10          |

Резултатите показват, сравнително ниски стойности на технологичните показатели – добив, съдържание и извличане. Най-високи стойности на показателите се постигат при флотационен експеримент №2, където добивът на флотационния концентрат достига 31.14 %, а извличането на полезните компоненти - Ag, Cu, Pb и Zn са съответно – 57.88%, 36.56%, 46.57% и 33.07%.

#### IV.2.3. Изследване влиянието на общата повърхност на пенната формация на флотационна машина *Pneufлот* върху технологичните показатели

Проведени са серия от флотационни експерименти с оптимизирани технически параметри на флотационната машина *Pneufлот*, като е контролирана площта на общата повърхност на пенната формация на флотационната машина.

Общата повърхност на пенната формация се регулира, чрез поставянето на конус в горната част на флотационната клетка, което дава възможност за намаляването ѝ. Както и при

изучаване на междинния продукт слив от хидроциклон в цикъла на досмилане, в технологичната верига на ОФ „Асарел“, така и тук, за изучаване на междинен хидрометалургичен продукт цинков кек са проведени два флотационни тестове:

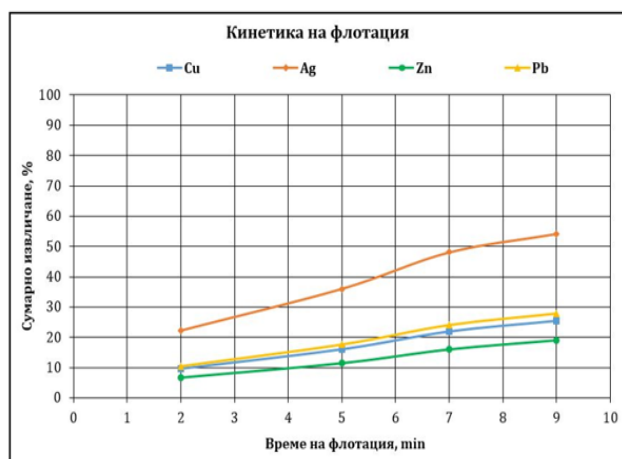
- ❖ Без конус – при свободни условия, обезпечени от голяма обща повърхност на пенната формация;

- ❖ С конус – при стеснени условия от намалена обща повърхност на пенната формация.

При стеснени условия на пенната формация се реализира по-малка обща повърхност, което води до увеличаване височината на пенния стълб. Реализира се допълнително процес на вторична концентрация в пенната формация. Създават се условия на конкурентност между хидрофобните минерални частици, с цел оставане в обема на пяната, което води до получаването на по-чист концентрат.

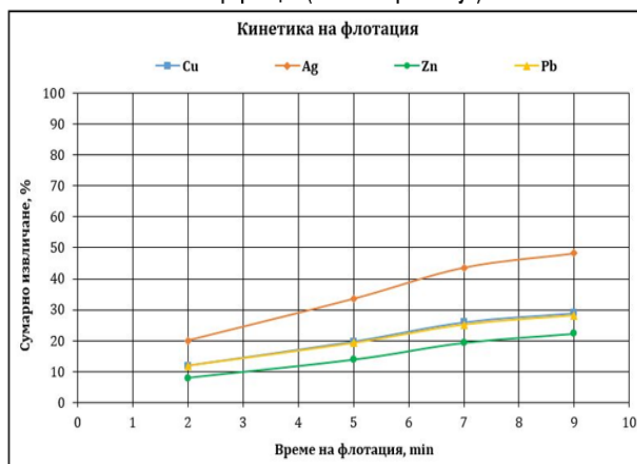
На Фигура V.70 и Фигура V.73 е представено сумарното извличане на съответните компоненти, в зависимост от времето на флотация, съответно при стеснени и свободни условия.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНЕНИ  
УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.70. Кинетика на флотационния процес

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на  
пенната формация (без монтиран конус)



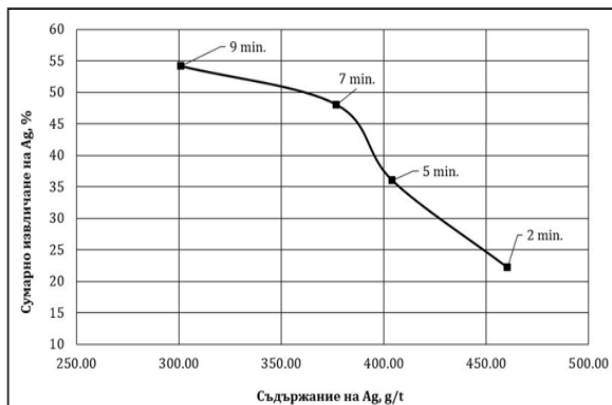
Фигура V.73. Кинетика на флотационния процес

На Фигура V.71 и Фигура V.74 е представено сумарното извличане на сребро, като функция от съдържанието на сребро в добитите концентрати.

На Фигура V.72 и Фигура V.75 е представено влиянието на добива върху извличането на Ag в получените концентрати.

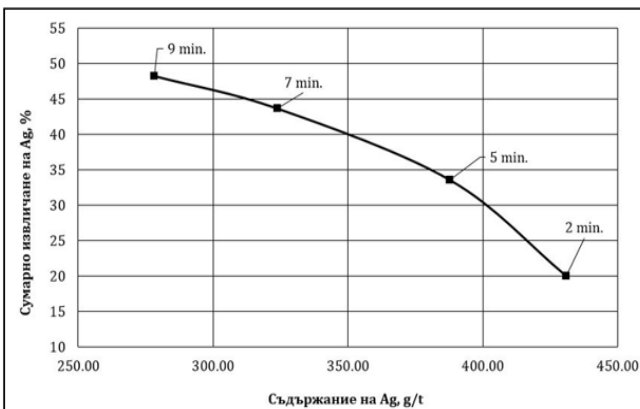
Получените експериментални резултати ясно показват влиянието на площта на общата повърхност на пенната формация. При стеснени условия на пенната формация (намалена площ) се получава по-чист концентрат с по-високо съдържание на Cu (1.65 %), Ag (402.33 g/t) и Pb (5.88%), като се отчита незначителна разлика в съдържанието на Zn, съответно 17.21 % при стеснени условия и 17.59% при свободни условия. Естествено при свободни условия се реализира по-висок добив на общия концентрат (23.50%). Наблюдава се значителна разлика в съдържанието на сребро в крайния флотационен отпадък (стеснени условия – 93.90 g/t; свободни условия – 123.12 g/t). Както при стеснени, така и при свободни условия на пенната формация, извличането на ценните компоненти (Ag, Cu, Pb и Zn) в общите флотационни концентрати не надвишава 55.00%.

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНИ  
УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



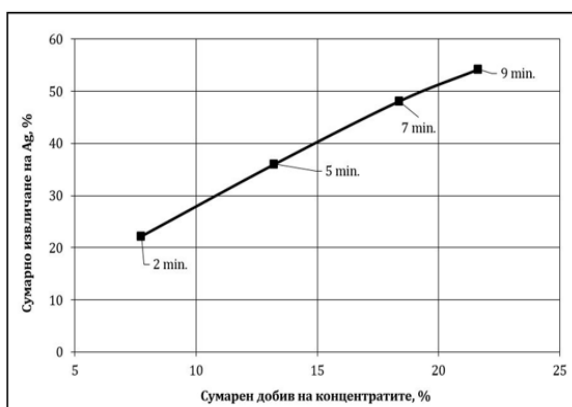
Фигура V.71. Зависимост между извличането и съдържанието на сребро в добитите концентрати

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)



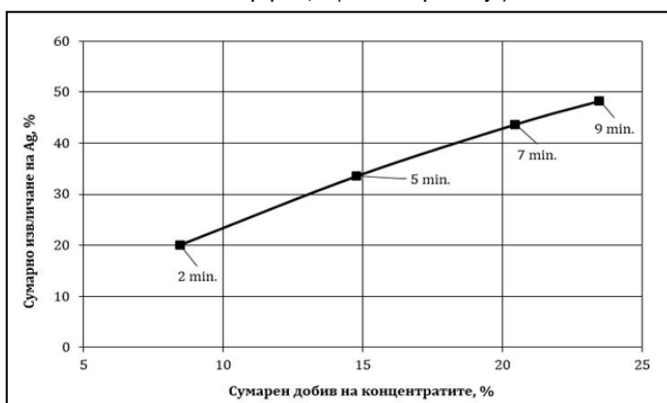
Фигура V.74. Зависимост между извличането и съдържанието на сребро в добитите концентрати

Флотационен експеримент № 1 при СТЕСНИ  
УСЛОВИЯ на пенната формация (с монтиран конус)



Фигура V.72. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделните флотационни концентрати

Флотационен експеримент № 2 при СВОБОДНИ УСЛОВИЯ на пенната формация (без монтиран конус)



Фигура V.75. Зависимост между сумарния добив и извличането на отделните флотационни концентрати

Незадоволителните резултати за извличането на сребро (Ag), мед (Cu), олово (Pb) и цинк (Zn) при проведените експерименти с флотационна машина *Pneufлот*, биха могли да се дължат на следните по-важни фактори:

1. Изключително финия зърнометричен състав на изходния продукт, в който най-фините частици ( $-0.010\text{ mm}$ ) притежават висока специфична повърхност, водят до трудности при селективната флотация и най-вече до затруднения при адсорбцията на флотационния реагент събирател (шламът полепва по повърхността на ценните минерални компоненти и изменя флотационните им свойства).

2. Увличане на голямо количество фини шламови частици във флотационната пена, водещо до замърсени концентрати и ниска кинетика на флотационния процес.

3. Установените много фини срастъци ( $>0.020\text{ mm}$ ) между цинковите ферити ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ) и сребърните минерални фази (аргентит –  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) водят до високи загуби на сребро в крайния флотационен отпадък, което определено доказва, че извличането на сребро от цинковия кек е практически възможно само чрез хидрометалургични техники.

## ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Въз основа на извършените експерименти с пневматична флотационна машина *Pneufлот*, с цел установяване възможностите за включване на метод за флотация с предварителен контакт в технологичната верига на Обогатителна фабрика „Асарел“, могат да се направят следните общозначими изводи:

1.1. Определени са техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* за междинен продукт - слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с реални моментни проби в условията н ОФ „Асарел“. Експерименталните лабораторни резултати определено показват, че междинният продукт е правилно избран за изследване приложимостта на флотационната машина *Pneufлот*. Доказана е ефективността на пневматичната флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт, при флотацията на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане. Хидродинамичните условия във флотационната машина *Pneufлот* създават предпоставка за добро разделяне на медните минерали и молибденита от скалните примеси. Реализираният предварителен контакт между фини въздушни мехурчета и минералните частици, както и хидродинамичните условия във флотационната машина дават възможност за флотирание на фините молибденитови частици.

1.2. Установено е, че влиянието на общата повърхност на пенната формация върху технологичните показатели на флотационния процес е от много съществено значение. При намалена площ на пенната формация се реализира допълнителен процес на вторична концентрация в пената и се получава по-чист концентрат, с по-високо съдържание на мед. При увеличена площ на пенната формация се реализира по-висок добив на общия концентрат. Установено е, че при стеснени условия на пенната формация, селективността на флотационния процес е подчертано по-добра, в сравнение с тази при свободни условия. Извличането на пирита и скалните примеси в общия концентрат от основна медна флотация при стеснени условия е с около 10 % по-ниско, в сравнение с това при свободни условия. Кривите на селективност ясно показват, че при основна медна флотация при стеснени условия извличането на пирит и скални примеси е два пъти по-малко, отколкото извличането на медните минерали.

1.3. Наличието на високо съдържание на остатъчен калциев оксид, в слива от хидроциклон в цикъла на досмилане, води до ниски добиви на получените концентрати. В добитите концентрати са налични по-високи съдържания на мед. При поддържане на оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид (650 – 700 mg/l) в основна и контролна медна флотация се получава по-високо извличане на мед и молибден от контролна флотация с приблизително 10 %, в сравнение с извличането, при поддържане на оптимална концентрация на остатъчен калциев оксид само в основна медна флотация.

1.4. Кинетичните криви на флотационния процес и кинетиката на съдържанието на Cu и Mo в добитите концентрати при оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид показват, че медните минерали основно флотират първите 7 min, а молибденитът активно започва да флотира след 5 min, т.е. на молибденитът трябва да се осигури по-дълго време на флотация. Трябва да се отбележи, че съдържанието на молибден в концентратите от 7 и 9 min достига до над 6000 g/t. Очевидно реализирания предварителен контакт “фино мехурче – фина честица” и последващите спокойни хидродинамичните условия във флотационна машина *Pneufлот* дават възможност за флотирание на фините молибденитови частици без да са създадени подходящи физикохимични условия за флотация на молибденита със съответните реагенти.

1.5. Получените експериментални резултати с използването на реагента депресор MINFIT (200 g/t) при флотацията на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане показват, че флотационния процес във флотационната машина *Pneufлот* протича при много добра

селективност спрямо пирита. В същото време в крайния отпадък съдържанието на мед е в границите на 0.6 и 0.82 %, а съдържанието на Мо е около 230 g/t.

**1.6.** Установени са възможностите на пневматичната флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт при флотацията на отпадък от контролна медна флотация с реални моментни проби в условията на ОФ „Асарел“. Кривите на селективност ясно показват ефективното протичане на селективността на флотационния процес (депресиран пирит). Извличането на пирит е с повече от 3 пъти по-ниско от това на медта. Прави силно впечатление високото съдържание на молибден в общия концентрат – над 6000 g/t при добив 18.75 %, без използването на подходящи реагенти за флотация на молибденита.

**1.7.** Резултатите от минераложките и РФА анализи по класи на продукти, получени при лабораторните флотационни изследвания със слив от хидроциклон в цикъла на досмилане са в добро съгласие с получените технологични резултати и потвърждават установените закономерности за флотацията на молибденита с флотационна машина *Pneufлот*. С реализиране на предварителен контакт на “фино мехурче – фина честица” и отличните хидродинамични условия фините молибденитови частици флотират в по-голямата си част. Естествено има загуби на молибденит в крайния отпадък. Тези загуби могат да бъдат сведени до минимум и да се реализира изключително ефективна флотация на молибденит с използването на подходящ реагентен режим.

**1.8.** Въз основа на получените експериментални резултати в лабораторни условия с реални моментни проби в условията на ОФ „Асарел“ са предложени две технологични възможности за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“:

- Флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане с флотационна машина *Pneufлот*
- Флотация на отпадък от контролна медна флотация с флотационна машина *Pneufлот*

**2.** Въз основа на извършените серии от лабораторни флотационни експерименти, с флотационна машина *Pneufлот*, с цел установяване възможностите за флотация с предварителен контакт на междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек, в технологичната верига на Комбинат за цветни метали (КЦМ АД, гр. Пловдив) биха могли да се направят следните общозначими изводи:

**2.1.** Доказани са възможностите на пневматичната флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт за извличане на сребро, цинк, олово и мед от междинен хидрометалургичен продукт - цинков кек, в технологичната верига на Комбинат за цветни метали (КЦМ АД, гр. Пловдив). Определени са техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот*, при флотация на междинен хидрометалургичен продукт цинков кек.

**2.2.** Получените експериментални резултати ясно показват влиянието на площта на общата повърхност на пенната формация. Доказано е, че при стеснени условия на пенната формация (намалена площ) се получава по-чист концентрат с по-високо съдържание на мед (Cu), сребро (Ag) и олово (Pb). При свободни условия се реализира по-висок добив на общия концентрат. Както при стеснени, така и при свободни условия на пенната формация, извличането на ценните компоненти (Ag, Cu, Pb и Zn) в общите флотационни концентрати не надвишава 55.00%.

**2.3.** Установено е, че междинният хидрометалургичен продукт - цинков кек се характеризира с изключително фин зърнометричен състав, следователно притежава висока

специфична повърхност, което води до трудности при селективната флотация и най-вече до затруднения при адсорбцията на флотационния реагент събирател. Увеличаването на голямо количество фини шламови частици във флотационната пена, води до получаването на замърсени концентрати и ниска кинетика на флотационния процес. Поради наличието на много фини срастъци между цинковите ферити ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ) и сребърните минерални фази (аргентит –  $\text{Ag}_2\text{S}$ ), загубите на сребро в крайния флотационен отпадък са значителни, което определено доказва, че извличането на сребро от цинковия кек е практически възможно единствено, чрез хидрометалургични техники.

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложните приноси, реализирани в хода на настоящия дисертационен труд, могат да се синтезират, както следва:

1. Извършено е комплексното изучаване, задълбочен обзорен преглед и анализ на развитието на флотационния процес, както и теоретично обобщение, оценка и комплексен анализ на ново поколение пневматични флотационни машини от колонен тип - флотационни машини с предварителен контакт, в резултат на което са получени ценни и недостатъчно разпространени знания.
2. Експериментално са оптимизирани техническите параметри на флотационна машина *Pneufлот* за флотация на междинни продукти *слив от хидроциклон в цикъла на досмилане* с реални моментни проби в условията на ОФ „Асарел“ и *хидрометалургичен продукт цинков кек* в условията на КЦМ АД, Пловдив.
3. Потвърдено е, че турбулентното течение не е абсолютно необходимо за осъществяване на флотационния процес. Той би могъл да се осъществи и при спокойни ламинарни условия. Експериментално е доказано, че хидродинамичните условия във флотационната машина *Pneufлот* създават предпоставка за добро разделяне на медните минерали и молибденита от скалните примеси. Реализираният предварителен контакт между фини въздушни мехурчета и минералните частици, както и хидродинамичните условия във флотационната машина осигуряват възможност за флотиране на фините молибденитови частици.
4. Експериментално са доказани технологичните възможности на пневматична флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт, при флотацията на *слив от хидроциклон в цикъла на досмилане* и *отпадък от контролна медна флотация* с реални моментни проби от технологичната верига на ОФ „Асарел“, за по-ефективно извличане на ценните компоненти (мед и молибден).
5. Доказано е, че влиянието на общата повърхност на пенната формация върху технологичните показатели на флотационния процес е от много голямо значение при изследваните обекти. Установено е, че при стеснени условия на пенната формация, селективността на флотационния процес е подчертано по-добра, в сравнение с тази при свободни условия. При намалена площ на пенната формация се реализира допълнителен процес на вторична концентрация в пената и се получава по-чист концентрат, с по-високо съдържание на мед. При увеличена площ на пенната формация се реализира по-висок добив на общия концентрат.
6. Експериментално е установено, че е необходимо поддържане на оптимална остатъчна концентрация на калциев оксид  $/650 - 700 \text{ mg/l/}$  в основна и контролна флотация за реализиране на по-високо извличане на мед и молибден. Медните минерали основно флотира първите 7 min, а молибденитът активно започва да флотира след 5 min, т.е. на молибденитът трябва да се осигури по дълго време на флотация. Съдържанието на

молибден в концентратите от 7 и 9 min достига до над 6000 g/t. Реализираният предварителен контакт “фино мехурче – фина честица” и последващите спокойни хидродинамични условия във флотационна машина *Pneufлот* дават възможност за флотирание на фините молибденистови частици без да са създадени подходящи физикохимични условия за флотация на молибденита със съответните реагенти.

7. Резултатите от минераложките и РФА анализи по класи на продукти получени при лабораторните флотационни изследвания със слив от хидроциклон в цикъла на досмилане са в добро съответствие с получените технологични резултати и потвърждават установените закономерности за флотацията на молибденита с флотационна машина *Pneufлот*.
8. Предложени са две технологични възможности за включване на метод на флотация с предварителен контакт в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“: флотация на слив от хидроциклон в цикъла на досмилане и флотация на отпадък от контролна медна флотация. Тези технологични алтернативи биха могли да се реализират, след включване на полупромишлен прототип на флотационната машина *Pneufлот* в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“ и провеждане полупромишлени тестове.
9. Експериментално е установено, че приложението на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран с пневматичната флотационна машина *Pneufлот*, в технологичната верига на Комбинат за цветни метали (КЦМ АД, гр. Пловдив) не е ефективно, поради високата специфична повърхност на изследвания обект, което води до трудности при селективната флотация и най-вече до затруднения при адсорбцията на флотационния реагент събирател. Увеличаването на голямо количество фини шламови частици във флотационната пена, води до получаването на замърсени концентрати и ниска кинетика на флотационния процес. Поради наличието на много фини срастъци между цинковите ферити ( $ZnFe_2O_4$ ) и сребърните минерални фази (аргентит –  $Ag_2S$ ), загубите на сребро в крайния флотационен отпадък са значителни, което определено доказва, че извличането на сребро от цинковия кек е практически възможно единствено, чрез хидрометалургични техники.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1) **Ivanova, Ts.**, M. Ranchev, I. Nishkov, *Column flotation machines - trends and applications*, Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Vol. 60, Part II, Mining, Technology and Mineral processing, 2017, pp. 67-72, ISSN: 2535-1184.

2) Grigorova, I., **Ivanova, Ts.**, Ranchev, M., Nishkov, I., *Pre-contact pneumatic flotation of silver, lead and copper from zinc cake residue*, In: Proc. of XVII Balkan Mineral Processing Congress, November 01-03, Antalya, Turkey, 2017, pp. 277 – 282.

3) **Ivanova, Ts.**, *Pre-contact flotation machines – operating principals*, Journal of Mining and Geological Sciences, Vol. 61, Part II, Mining, Technology and Mineral Processing, 2018, Sofia, Bulgaria, pp. 65-68.

4) **Ivanova, Ts.**, I. Grigorova, M. Ranchev, *Possibilities for Pneufлот flotation machine application in copper-porphyry ore processing plant*, Journal of Mining and Geological Sciences, Vol. 62, Part II, Mining and Mineral Processing, 2019, Sofia, Bulgaria, in press.

Заглавие на дисертационния труд:  
**МЕТОД НА ФЛОТАЦИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЕН КОНТАКТ – ТЕХНОЛОГИЧНИ  
ВЪЗМОЖНОСТИ**

Автор: ас. маг. инж. Цветелина Валериева Иванова

Основната цел на дисертацията е насочена към изследване технологичните възможности на метод на флотация с предварителен контакт. Изследователският фокус на дисертационния труд е насочен към изследване ефективността на работа на пневматична флотационна машина с предварителен контакт *Pneufлот* за различни междинни продукти.

За реализацията на поставените цели и задачи са използвани следните общонаучни изследователски методи: методи на емпирично и теоретично изследване, комбинирани общонаучни методи за изследване и експериментални изследвания в производствени условия.

Обект на изследване в настоящия дисертационен труд е пневматична флотационна машина *Pneufлот*, реализираща метод на флотация с предварителен контакт.

Предметът на изследване в разработката е създаването на технологични възможности и решения за повишено извличане на мед и молибден от междинен продукт в технологичната верига на Обогатителна фабрика «Асарел» и на цинк, сребро, олово и мед от междинен продукт в технологичния цикъл на Комбинат за цветни метали “КЦМ 2000 АД” – гр. Пловдив.

Научната новост на дисертационния труд се изразява в получаването на ценни и недостатъчно разпространени знания за технологичните възможности на метод на флотация с предварителен контакт, реализиран от пневматична флотационна машина *Pneufлот* за различни междинни продукти при преработване на медно-порфирни руди и оловно-цинковата металургия.

Дисертационният труд е в обем от **163** страници, като включва въведение, десет глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **(66)** литературни източници, като **(61)** са на латиница и **(5)** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **(107)** фигури и **(85)** таблици. Дисертационният труд е допълнен с приложения, обезпечаващи подробна информация за получените резултати.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в МГУ „Св. Иван Рилски“, Миннотехнологичен факултет, Лаборатория „Флотационни методи за обогатяване“, Лаборатория „Технологична оценка на минерални суровини и отпадъци“, Лаборатория „Управление на отпадъци“ към катедра «Обогатяване и рециклиране на суровини», и в Обогатителна фабрика „Асарел“, „Асарел-Медет“ АД.

Практическата значимост на дисертационния труд се заключава във възможностите за по-ефективно извличане на мед и молибден от междинен продукт в технологичната верига на Обогатителна фабрика «Асарел» и на цинк, сребро, олово и мед от междинен продукт в технологичния цикъл на Комбинат за цветни метали “КЦМ 2000 АД” – гр. Пловдив, както и осигуряване на повишени качествени показатели, екологосъобразно и устойчиво производство.

## **ABSTRACT**

The major objective of the dissertation is to investigate the technological possibilities of pre-contact flotation method. The dissertation research focus is aimed to investigating the pneumatic flotation machine – PNEUFLOT® (MBE Coal & Minerals Technology) operating principals and efficiency for various middling's. The pneumatic pre-contact flotation machines are representatives of a new generation flotation machines with a number of design features flotation process improving.

The following scientific research methods were used for goals and tasks achievement: empirical and theoretical research methods, combined scientific research methods and experimental research in operating conditions.

The dissertation research subject is the pneumatic flotation machine – PNEUFLOT® (MBE Coal & Minerals Technology), which implements a pre-contact flotation method.

The research objective is to study of technological possibilities and solutions for increased copper and molybdenum recovery from various middling's in Assarel Medet Processing Plant technological chain and zinc, silver, lead and copper from "KCM 2000 AD" technological chain.

The thesis scientific novelty is expressed to obtaining of a valuable and insufficient disseminated knowledge about the technological possibilities of pre-contact flotation method, realized by pneumatic flotation machine – PNEUFLOT® from various middling's in copper porphyry ores processing and lead-zinc metallurgy.

The dissertation has a volume of 163 pages, including an introduction, ten chapters for solving the formulated main tasks, a list of major contributions, a list of publications and literature.

A total of (66) literary sources are cited, (61) in Latin and (5) in Cyrillic, the rest being Internet addresses. The work includes a total of (107) figures and (85) tables. The dissertation is supplemented with Applications providing detailed information on the results obtained.

The dissertation research work was carried out at University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Faculty of Mining Technologies, Laboratory "Flotation Technologies", Laboratory „Mineral Raw Materials and Waste Technological Evaluation", Laboratory "Waste management" at the Department of Mineral Processing and Recycling and at Assarel Medet Processing Plant, Assarel – Medet JSC.

The dissertation practical importance lies in the possibilities for more efficient copper and molybdenum recovery from an intermediate product in the technological chain of the Assarel Medet Processing Plant technological chain and zinc, silver, lead and copper from "KCM 2000 AD" technological chain, as well as providing improved quality, environmentally friendly and sustainable production.

The obtained results show the possibilities for PNEUFLOT flotation technology implementation in the copper flotation plants. The development of innovative engineering solutions to improve the efficiency of the flotation process leading to the full utilization of increasingly used raw materials is one of the most important tasks the mineral-raw material industry faces. The implementation of pre-contact flotation machines in the process of the concentrators plants and hydrometallurgy plant is one of the most reliable solutions for the optimization of the production process.