

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ОБОГАТЯВАНЕ И РЕЦИКЛИРАНЕ НА СУРОВИНИ“

маг. инж. МИЛКА ДОЙЧЕВА КРЪСТЕВА

**ВЛИЯНИЕ НА СТАБИЛНОСТТА НА МИНЕРАЛИЗИРАНИ
ПЕНИ ВЪРХУ ОБЕЗВОДНИТЕЛНИТЕ ПРОЦЕСИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Научна специалност:
„Обогатяване на полезните изкопаеми“

Научен ръководител:
проф. д-р Ив. Нишков

София - 2013г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ - гр. София.

Пълният обем на дисертацията е 160 страници. В основния текст са включени 16 таблици, 66 фигури (50 авторски, 16 цитати от литературния обзор) и 49 формули.

Дисертацията се състои от въведение, 5 части, 10 глави, научно-приложни приноси, 2 приложения (общо 28 таблици, разположени на 13 страници), списък с цитираната литература, 4 публикации по темата на дисертацията (копия).

Използваната литература включва 152 заглавия на кирилица и латиница, от които 6 на български език, 5 на руски език и 141 на английски език.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 17 януари 2014 г. от 13.30 часа в зала 138 „Каолин“, МТФ на МГУ „Св. И. Рилски“, гр. София на заседание на научното жури в състав:

1. Проф. д-р Иван Михайлов Нишков – МГУ, катедра „ОРС“
2. Доц. д-р Димитър Янков Мочев - МГУ, катедра „ОРС“
3. Проф. д-н Щелиана Димитрова Джендова – експерт, външен член
4. Проф. д-н Методи Стоянов Методиев – експерт, външен член
5. Доц. д-р Георги Петров Меразчиев – експерт, външен член

Резервни членове:

1. Доц. д-р Валерия Кирякова Ковачева-Нинова, катедра „ОРС“
2. Проф. д-н Стойчо Митрев Стоев, външен член

Автор: маг. инж. Милка Дойчева Кръстева

Заглавие: ВЛИЯНИЕ НА СТАБИЛНОСТТА НА МИНЕРАЛИЗИРАНИ ПЕНИ
ВЪРХУ ОБЕЗВОДНИТЕЛНИТЕ ПРОЦЕСИ

Научен ръководител: проф. д-р Ив. Нишков

Материалите във връзка с предстоящата защита са на разположение на заинтересованите лица в сектор „Следдипломна квалификация“

Благодарности

Изказвам своята благодарност към ръководството на „Асарел - Медет“ АД в лицето на д-р инж. Лъчезар Цоцорков, за предоставената ми възможност за провеждане на лабораторните (стендови) изследвания и тестове в реални условия на територията на предприятието, както и за използване на базата за направа на химичните и рентгено-флуоресцентни анализи.

Признателна съм и благодаря на моя научен ръководител проф. д-р Ив. Нишков за това, че с неговия богат опит и рутина ме насочи към тема с актуален проблем, за това, че ми предаде своите знания и опит, за ценните съвети и напътствия, за целенасоченото му и търпеливо ръководство през целия период на докторантската ми дейност.

Особено признателна съм на гл.ас. д-р Калинка Величкова, катедра "Физика", МГУ „Св. Иван Рилски“, за всеотдайната ѝ помощ, съвети и насоки.

Благодаря на всички мои колеги, с които си сътрудничих през периода на разработване на дисертацията.

Сърдечно благодаря на моите родители и моето семейство за обичта им, търпението им и безрезервната им подкрепа.

Този дисертационен труд посвещавам на моите най-близки хора, семейството ми и родителите ми.

I. АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Дисертационният труд е посветен на малко изследвания проблем за влиянието на устойчивостта на минерализирана пяна върху обезводнителните процеси в обогатителните фабрики за флотация на медни минерали и нейното разрушаване. Пенообразуването играе важна роля в редица технологични процеси. С него е свързан и един широко използван в съвременната технология на обогатяване на рудни полезни изкопаеми процес - пенна флотация. Тя има огромно практическо значение и се използва във всички групи трифазни технологии: хранителната, очистка на отпадъчни води, кондициониране на питейни води, обезмастиляване на рециклирана хартия, отстраняване на органичните замърсители в отпадъчните води при млечната и бирената промишленост, в металургичната, химическата и минерална промишленост, възстановяване на замърсени почви и т.н. За оптимизиране на пенната система при един флотационен процес, от една страна, пяната трябва да бъде толкова стабилна, така че извличането на частичките на ценния компонент да бъде максимално, а за скалните минерали - минимално, от друга страна, пяната трябва да има способността да се разпада бързо при транспорта, за да могат да бъдат отстранени трудностите при следващите операции. Формирането на стабилна трифазна пяна в съвременните технологии представлява значителен технологичен проблем, появяващ се в цикъла на обезводняване на крайния концентрат. По повърхността на сгъстителите се образува дебел слой жилава и трудно разрушима пяна, която изцяло ги покрива. Това е проблем в много обогатителни фабрики, което води до понижаване на производителността, нарастване на разходите по ремонта и обслужването на промишленото оборудване, загуба на полезен компонент, добив на краен продукт с по-ниско качество и високо съдържание на влага.

В някои обогатителни фабрики, както е случаят в ОФ „Асарел“, по повърхността на сгъстителите се образува устойчива и трудно разрушима пяна, която влияе върху процеса на сгъстяване и филтрация и получаването на чисти сливни води.

Този съществен проблем определя целта и основните задачи на проведените експерименти, чиито резултати са изложени в настоящия дисертационен труд.

II. ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Във връзка с описания основен проблем целта, която се поставя в настоящата дисертация е да се създадат нови и усъвършенствани методи за разрушаване на флотационната пяна, постъпваща в сгъстителя от последната операция на пречистна флотация, и с това да се възпрепятства образуването на трудно разрушим слой пяна по повърхността на сгъстителите, получаването на чисти преливи и намаляване на влажността на крайния концентрат.

III. ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

За постигане на целта бе необходимо да се решат следните основни задачи:

1. Да се изучат основните физикохимични характеристики, структура и свойства на трифазните пени, тяхната устойчивост и механизмът на самоволното им разрушаване.

2. Да се направи обзорен преглед на съществуващите методи за разрушаване на двуфазна и трифазна пяна.

3. Да се извърши мониторинг на обезводнителните процеси в ОФ „Асарел”.

4. Да се проведат стендови тестове и тестове в реални условия за разрушаване на пяната, включващи:

4.1. изследване на влиянието на ПАВ върху намаляването обема на пяната в пулпо-пенната смес (химични методи);

4.2. определяне ефективността на намаляване на обема на пяната чрез механично въздействие върху пулпо-пенния поток (механични методи);

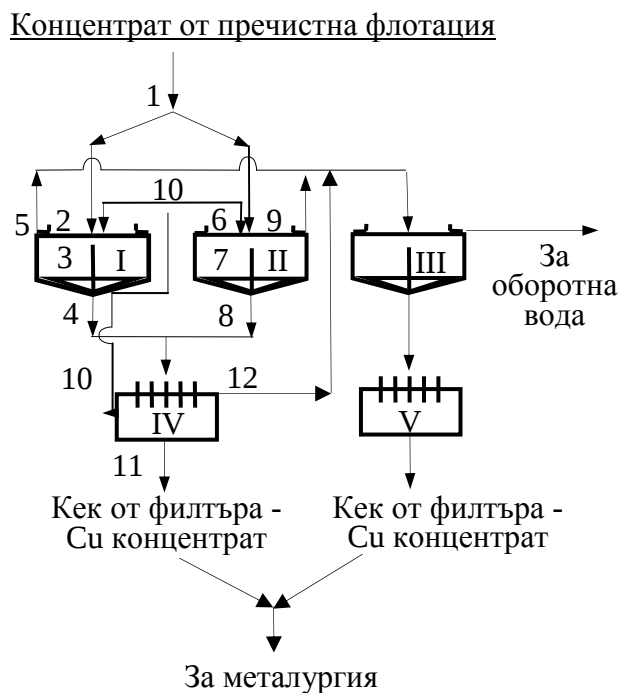
4.3. определяне ефективността на намаляване на обема на пяната чрез комбинирано химико-механично въздействие върху пулпо-пенния поток (комбинирани методи);

4.4. разработване на метод и апаратура за механично, химично и комбинирано (химико-механично) разрушаване на трифазна флотационна пяна.

IV. РЕЗУЛТАТИ, ДИСКУСИЯ И ИЗВОДИ

Мониторинг на процесите в цикъла на обезводняване

Мониторингът на цикъла на обезводняване на медния концентрат е реализиран чрез опробване на дванадесет точки. Схемата на обезводняване на крайния флотационен концентрат и точките на опробване са показани на фигура 1.



Фиг.1. Схема на обезводняване на ОФ Асарел.

I, II и III - радиален сгъстител; IV и V - дисков вакуум филтър

Точки на опробване: 1 - Cu концентрат от пречистна флотация; 2 - пяна на повърхността на първи сгъстител; 3 - слой под пяната на първи сгъстител; 4 - сгъстен продукт на първи сгъстител; 5 - прелив на първи сгъстител; 6 - пяна на повърхността на втори сгъстител; 7 - слой под пяната на втори сгъстител; 8 - сгъстен продукт на втори сгъстител; 9 - прелив на втори сгъстител; 10 - остатъчен продукт от ваната на филтъра; 11 - краен меден концентрат; 12 - филтрат

На пробите са определени следните характеристики: съдържание на твърда фаза ($\%_{\text{тв}}$); влага на медния концентрат ($W, \%$); зърнометричен състав; съдържание на Cu, Fe, S, SiO_2 и Al_2O_3 .

Зърнометричният състав на преливите от двата сгъстителя, както и на филтратата, е определен чрез Laser Particle Sizer Analysette 22, FRITSCH. Съдържанието на Cu, Fe, S, SiO_2 и Al_2O_3 е определено чрез рентгено-флуоресцентен анализ.

Табл.1. Зърнометричен и химичен анализ на продуктите от опробването

Продукт	Класа, µm	Добив, γ, %	Съдържание, %			
			Cu	Fe	S	SiO ₂
Меден концентрат от последна пречистна флотация Съдържание на твърдо вещество - 39,08 %	+ 80	3,80	21,49	23,98	33,42	18,32
	- 80 + 63	3,56	21,36	23,20	30,05	8,98
	- 63 + 40	9,49	22,99	28,25	30,66	7,91
	- 40	83,15	28,36	29,98	33,41	2,03
	Всичко	100,00	27,34	29,35	33,03	3,45
Пяна на повърхността на I ^{ви} сгъстител Съдържание на твърдо вещество - 65,27%	+ 80	1,84	20,96	25,98	38,89	1,69
	-80 + 63	1,58	24,79	28,36	31,72	0,10
	- 63 + 40	3,68	27,10	29,00	33,18	2,49
	- 40	92,90	32,92	28,53	32,23	0,93
	Всичко	100,00	32,36	28,50	32,38	0,99
Слой под пяната на повърхността на I ^{ви} сгъстител Съдържание на твърда вещество - 39,15%	+ 80	0,54	15,58	19,49	27,18	29,44
	-80 + 63	0,96	14,83	19,28	28,85	22,17
	- 63 + 40	4,63	19,33	22,26	29,78	16,73
	- 40	93,87	28,90	28,79	32,44	2,36
	Всичко	100,00	28,25	28,35	32,25	3,36
Сгъстен продукт на I ^{ви} сгъстител Съдържание на твърдо вещество - 64,65%	+ 80	12,61	20,58	26,67	35,52	13,39
	-80 + 63	10,23	21,32	25,75	31,63	9,11
	- 63+ 40	16,45	21,91	26,45	31,45	6,50
	- 40	60,71	27,45	29,15	32,59	2,61
	Всичко	100,00	25,05	28,05	32,67	5,27
Пяна на повърхността на II ^{ри} сгъстител Съдържание на твърдо вещество - 63,31%	+ 80	1,73	22,03	28,48	38,30	2,94
	- 80 + 63	1,50	25,55	29,46	33,19	3,10
	- 63 + 40	3,93	26,03	28,40	31,28	1,57
	- 40	92,84	33,47	28,94	31,58	0,71
	Всичко	100,00	32,86	28,92	31,71	0,82
Слой под пяната на повърхността на II ^{ри} сгъстител Съдържание на твърдо вещество - 39,02%	+80	0,19	24,30	29,95	27,80	4,45
	- 80 + 63	0,24	25,55	31,16	30,18	0,70
	- 63 + 40	0,56	27,85	31,50	27,11	7,25
	- 40	99,01	29,77	28,10	31,71	2,22
	Всичко	100,00	29,74	28,13	31,67	2,25
Сгъстен продукт на II ^{ри} сгъстител Съдържание на твърдо вещество - 58,05%	+ 80	9,39	20,06	25,96	34,52	15,01
	- 80 + 63	8,32	20,85	25,18	31,54	11,08
	- 63 + 40	16,77	22,17	26,59	32,08	8,34
	- 40	65,52	27,19	29,19	32,89	2,56
	Всичко	100,00	25,15	28,12	32,80	5,40
Остатъчен продукт от ваната на филтъра Съдържание на твърдо вещество - 62,93%	+80	16,21	19,72	27,95	36,49	12,38
	- 80 + 63	9,69	14,37	17,93	28,92	4,16
	- 63 + 40	18,15	22,48	27,66	33,05	7,88
	- 40	55,95	26,37	29,40	32,37	2,56
	Всичко	100,00	23,42	27,74	32,83	5,27
Краен концентрат след филтруване Съдържание на влага - W=11,8 %	+ 80	9,60	20,35	27,25	35,66	13,28
	- 80 + 63	8,54	21,01	25,48	31,60	9,89
	- 63 + 40	17,52	22,62	27,60	33,22	9,22
	- 40	64,34	27,03	29,25	32,51	2,62
	Всичко	100,00	25,10	28,45	32,86	5,42

Съдържанието на полезен компонент (в случая мед) в различните части на пенния слой е различно. Резултатите от Табл. 1 показват, че съдържанието на твърда фаза на сгъстените продукти от I^{-ви} сгъстител (64,65 %) и II^{-ри} сгъстител (58,05 %), както и това на медния концентрат от последна пречистна флотация (39,08 %) е по-ниско, отколкото в пяната на повърхността на сгъстителите, съответно - 65,27 % и 63,31 %.

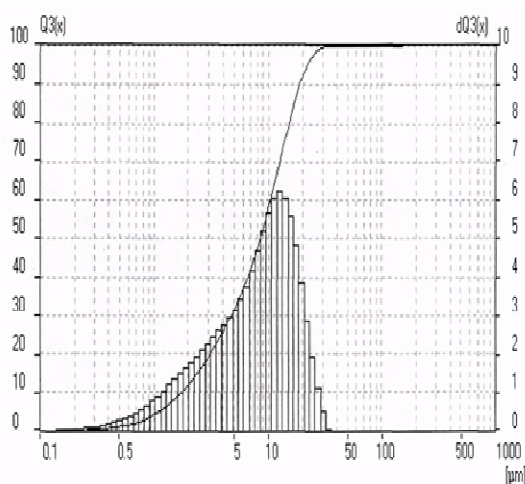
По-голямата част от фините частици класа (- 40 μm) са концентрирани в устойчивата пяна, формирана на повърхностния слой на сгъстителите (92,90 % и 92,84 %). Същата тази фракция при меден концентрат от последна пречистна флотация и сгъстените продукти от сгъстителите е съответно 83,15 %, 60,71 % и 65,52 %

Установено е, че в продукта под дебелия пенен слой състоянието не е по-различно. Съдържанието на мед в пяната на всички изследвани фракции е по-високо в сравнение със съдържанието на мед в сгъстените продукти на същите фракции. Тази разлика е много съществена за фината фракция (- 40 μm) - от порядъка на 7 - 8 %. Съдържанието на SiO_2 е по-ниско в пяната на повърхността на сгъстителите (под 1 %), в сравнение със същото в концентрата и на сгъстения продукт.

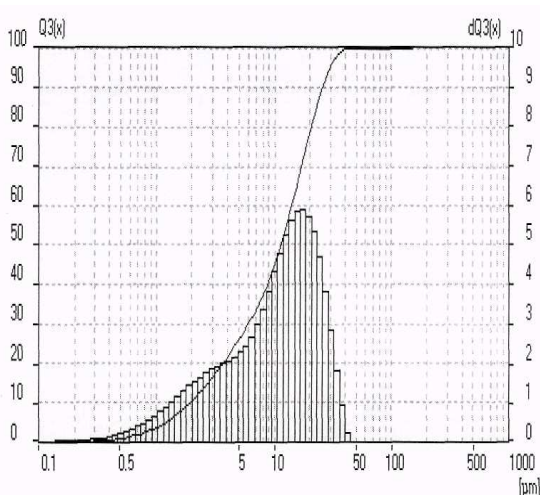
Влагата на крайния меден концентрат (11,8 %) е висока и е над изискванията на металургията. Съдържанието на мед в крайния стоков продукт е със 7 % по-ниско от това в пяната. . Същото се отнася за съдържание на SiO_2 , но в обратна посока - с 5 %. Това се дължи на неефективната работа обезводнителния цикъл.

Разпределението на частиците на преливите от двата сгъстителя (Фиг. 2 и Фиг. 3) показва, че част от фините частици (с размери под 30 μm) преминават от пяната в преливите, което прави невъзможно използването им като оборотна вода. Това води до допълнителни разходи и проблеми с оборотната вода, което налага използването на още един контролен сгъстител за утаяване на преливите и още един дисков вакуум филтър за филтрация на фините минерални частици.

В процеса сгъстяване се получават преливи с високо съдържание на



Фиг.2. Зърнометричен анализ на прелива на първи сгъстител



Фиг.3. Зърнометричен анализ на прелива на втори сгъстител

твърда фаза - 23,24 % и високо съдържание на Cu - 30,44 % (Табл. 2). Загубите на мед чрез преливите са значителни и са предимно за сметка на сгъстения продукт, а от там и за крайния концентрат.

Табл.2. Химичен анализ на преливите от двата сгъстителя и филтрат

Продукт	Съдържание на твърда фаза, %	Съдържание, %			
		Cu	Fe	S	SiO ₂
Прелив на I ^{ви} сгъстител	23,24	30,44	28,26	32,00	1,94
Прелив на II ^{ри} сгъстител	23,04	30,63	28,59	33,89	2,03
Филтрат	0,047	23,73	22,15	26,61	3,87

Проведеният мониторинг показва, че фините хидрофилни глинести частици не се задържат във формираната се пяна на повърхността на сгъстителя. Съдържанията на Al₂O₃ в концентрата от последната пречистна флотация и сгъстения концентрат са приблизително еднакви (Табл.3).

Табл.3. Съдържание на Al₂O₃ за класа -80 µm

№ по ред	Вид на пробата	Съдържание, %
1	Меден к-т от последна пречистна флотация	2,76
2	Пяна на повърхността на I ^{ви} сгъстител	0,61
3	Долен слой на пяната на I ^{ви} сгъстител	0,65
4	Сгъстен продукт на I ^{ви} сгъстител	2,77
5	Пяна на повърхността на II ^{ри} сгъстител	0,90
6	Долен слой на пяната на II ^{ри} сгъстител	0,78
7	Сгъстен продукт на II ^{ри} сгъстител	2,75
8	Остатъчен продукт от ваната на филтъра	2,33
9	Краен меден концентрат	2,55

Получените резултати показват, че един от начините за разрушаване на пяната е трансформирането на хидрофобните халкопиритни частици в хидрофилни. В образувалата се дебела и стабилна пяна протича процес на набогатяване на фините медни минерални частици.

Данни от минераложкия анализ на пробите от мониторинга са показани в Табл. 4.

Табл.4. Минераложки анализ на пробите от мониторинга

Минерал	Меден концентрат от последна пречистна флотация, %	Пяна на повърхността на I ^{ви} сгъстител, %	Сгъстен продукт от I ^{ви} сгъстител, %
Халкопирит	56	82	48
Халкозин и ковелин	16	9,0	14
Борнит	1,5	0,5	1,0
Пирит	20	7,2	28
Кварц	6,0	0,8	6,5
Сфалерит	0,5	0,5	0,5

Резултатите от минераложкия анализ потвърждават резултатите, получени от химичния анализ (Табл. 1). Установява се една много добра корелация между съдържанието на Си в съответните продукти и съдържанието на халкопирит:

✓ Съдържанието на Си в последната пречистна флотация е 27,34 %, съответно 56 % халкопирит;

✓ Съдържанието на Си в повърхностния слой на I^{-VI} сгъстител е 32,36 %, а съдържанието на халкопирит е 82 %;

✓ Съдържанието на Си в сгъстеният продукт на I^{-VI} сгъстител е 25,05 %, а съдържанието на халкопирит е 48 %.

Подобна корелация се наблюдава и при съдържанието на кварц в опробваните продукти.

Минераложкият анализ също доказва, че в процеса сгъстяване се реализира процес на вторично набогатяване на минерала халкопирит.

Въз основа на резултатите от мониторинга на цикъла на обезводняване в ОФ „Асарел” е разработена комплексна методика, състояща се в стендови изследвания и тестове в реални условия.

Стендови тестове за разрушаване на свежа пяна от последна пречистна операция в цикъла на флотация на ОФ „Асарел”

Настоящото изследване има за цел да провери възможностите за премахване на вредната пяна от последната пречистна флотация на ОФ „Асарел”, като са използвани три различни подхода - химичен, механичен и комбиниран химико-механичен.

1. Химични методи за разрушаване на трифазна флотационна пяна – методика

1.1. Материали

За лабораторните тестове се използват шест вида повърхностно активни вещества: *Antispumin ASW*, *Antispumin SGM*, *Antispumin NPK*, *Biospumex 364K*, *Bublex 250* - пеноразрушител на базата на нейногенни ПАВ (алкохол C12 - C18 етоксилиран/пропоксилиран), предоставен от Cognis и *Aerodri 104* (натриев алкил сурфонат ($C_{20}H_{37}O_7NaS$), предоставен от CYTEC.

1.2. Моделни физикохимични изследвания

1.2.1. Измерване способността на минералите към омокряне

Способността на минералите към омокряне са характеризирани с помощта на трифазния контактен ъгъл. Посредством микроскопска техника е измерен трифазният контактен ъгъл на плосък минерален субстрат, потопен в разтвора. Като се действа със сила върху менискуса срещу минералната

повърхност се формира неравновесен течен филм и от тук чрез неговото изтъняване, при критична стойност на дебелината, спонтанно се формира трифазен контакт. Последният се разширява (нараства) при постоянно налягане до тогава, докато менискусът добие нова равновесна форма. Способността на минералите към омокряне се характеризира с ъглите на омокряне на плоската минерална повърхност и на цилиндричната стъклена повърхност.

Образуването на тънък филм и разширяването на трифазния контактен периметър са наблюдавани от металографски микроскоп и регистрирани с видео камера.

Подготовката на минералната повърхност е от съществено значение за възпроизводимостта на получените резултати. Обикновено за подготовката на минералните повърхности за микроскопско изследване се приема методът на полиране, тъй като той дава възпроизводима повърхност. Тест за чистота е, ако нито едно въздушно мехурче не прави контакт с „чистата“ повърхност на изследваните минерали. Всички изследвани минерални повърхности са тествани по този начин преди да се определи влиянието на всеки реагент. Проучени са медните минерали и пиритът. Минералните образци, предварително третираны, както е описано по-горе, са потопени в разтвор на натриев изобутилов ксантогенат за 1 час и след това е определен контактният ъгъл. След последващо третиране с Aerodri 104, Bublex 250 и Antispumin NPK в продължение на 1 час, контактният ъгъл е измерен отново (Табл.5).

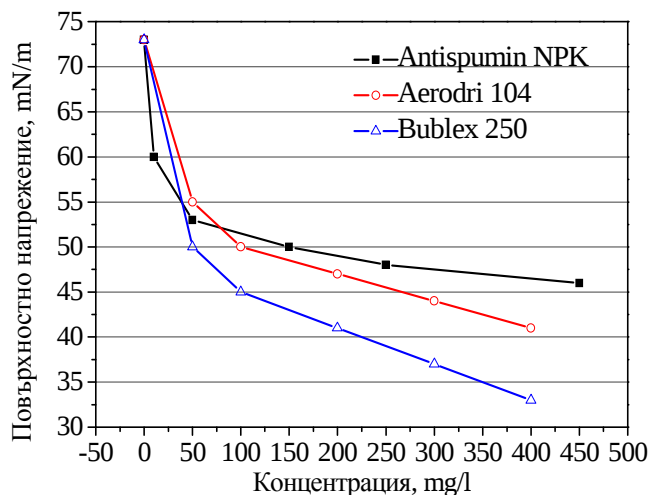
Табл.5. Измерване на трифазния контактен ъгъл

Минерал	След третиране с натриев изобутилов ксантогенат	След третиране с Aerodri 104	След третиране с Bublex 250	След третиране с Antispumin NPK
Халкопирит	68°	0°	0°	0°
Халкоцит	71°	0°	0°	0°
Ковелин	69°	0°	0°	0°
Борнит	66°	0°	0°	0°
Пирит	75°	0°	0°	0°

Средните стойности на контактният ъгъл на минералните мостри след третирането с натриев изобутилов ксантогенат са около 70°. След третирането със сърфактант контактният ъгъл рязко намалява от 70° до 0°. Не се осъществява контакт с полираните повърхности на всеки един от изследваните минерали при третирането им със сърфактанти, което ясно показва, че сърфактантите рязко променят степента на хидрофобност на минералите и ги правят хидрофилни.

1.2.2.Измерване на повърхностното напрежение

Измерени са стойностите на повърхностното напрежение на водни разтвори на Aerodri 104, Bublex 250 и Antispumin NPK при различни концентрации (по метода на Wilhelmi), като се използва стъклена плочка (Adamson, 1960). Фигура 4 илюстрира влиянието на разхода на сурфактант върху повърхностното напрежение на границата течност - газ. И при трите изследвани сурфактанта разходът на реагент води до намаляване на повърхностното напрежение на границата течност - газ. Това влияние е най-подчертано при Bublex 250.



Фиг.4. Зависимост между повърхностното напрежение и концентрацията на сурфактанта

Изследваните повърхностно активни вещества, понижавайки силно повърхностното напрежение, изместват пенообразователя от междуфазовата граница течност - газ и снижават хидратираността на граничния слой течност - газ. Разрушаването на пяната протича в резултат на следните процеси: изтичане на междуфилмовите течности, дифузия на газа между мехурчетата, разкъсване на тънките течни филми на пяната. Вследствие на това пяната става неустойчива.

1.3. „Shaking“ тест за разрушаване на трифазна флотационна пяна

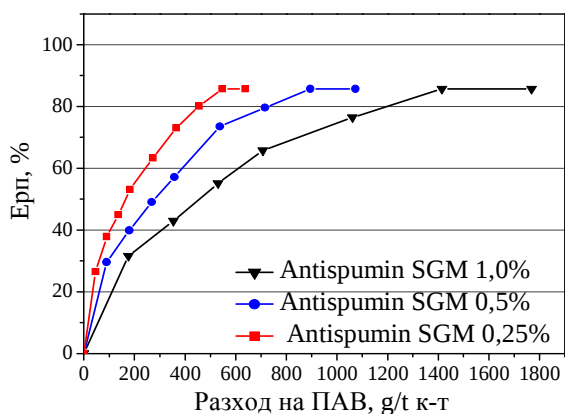
Изследвана е свежа проба от последната пречистна флотация на медна флотация, захранваща сгъстителя. За целта се използва еднолитров градуиран цилиндър. Измерена е началната височина на пяната в цилиндъра. Към пулпо-пенната проба е добавен реагент. Една минута след добавянето на сурфактанта цилиндърът внимателно се разклаща („Shaking“), след което се измерва височината на оставащата в цилиндъра пяна. За всички тестове се определя ефективността на разрушаване на пенния стълб ($E_{\text{рп}}$) с помощта на формула (1).

$$E_{\text{рп}} = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

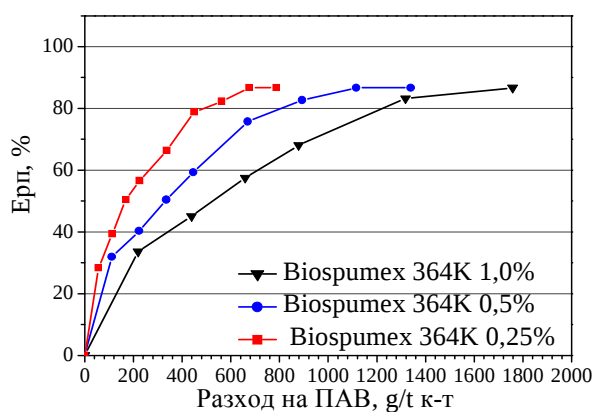
където:

V_0 и V_1 са съответно началният и крайният обем на пенния стълб в цилиндъра. За пресмятането на V_0 и V_1 се използват стойностите на измерените начална и крайна височина на пенния стълб.

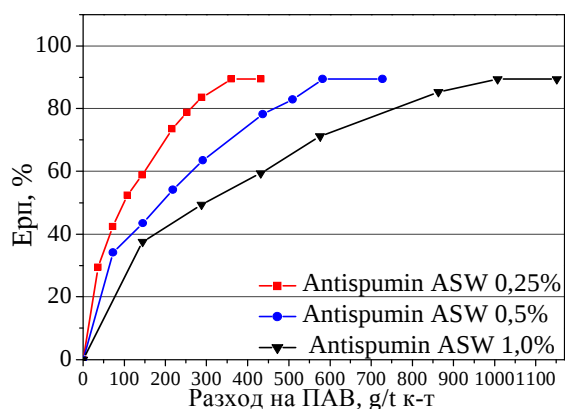
Изследва се ефективността на разрушаване на трифазната пена в зависимост от разхода на сърфактант.



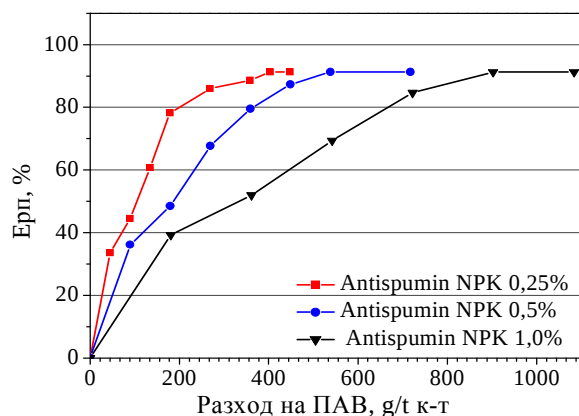
Фиг. 5. „Shaking” тест с Antispumin SGM



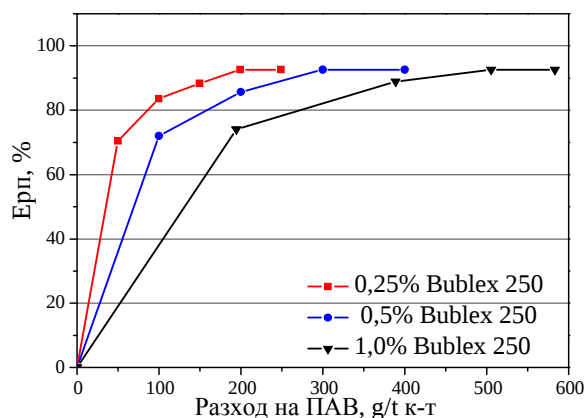
Фиг. 6. „Shaking” тест с Biospumex 364K



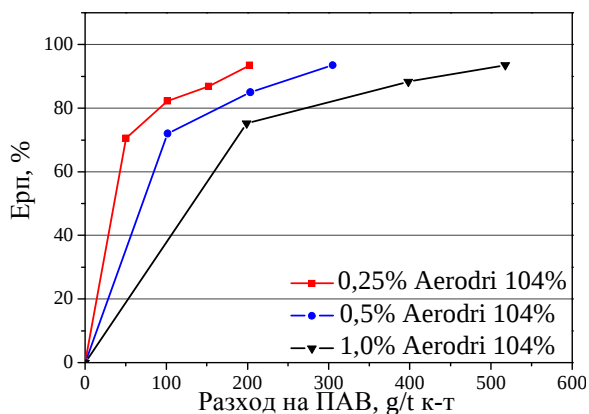
Фиг. 7. „Shaking” тест с Antispumin ASW



Фиг.8. „Shaking” тест с Antispumin NPK



Фиг. 9. „Shaking” тест с Bublex 250



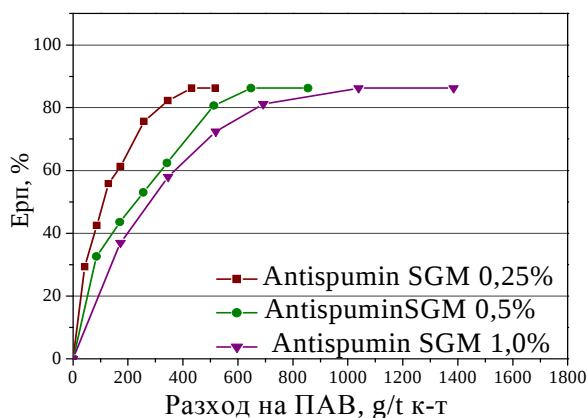
Фиг. 10. „Shaking” тест с Aerodri 104

Графиките показват ефективността на разрушаване на пенния стълб в зависимост от количеството на добавения реагент. Добавянето на реагент в пулпо-пенната система подобрява омокрянето на минералните частици, намалява повърхностното напрежение на граничната повърхност течност - газ и води до коалиценция на мехурчетата. Благодарение на омокрянето на минералните частици, последните дренират от Плато - Гибсовите канали и пенният слой става неустойчив.

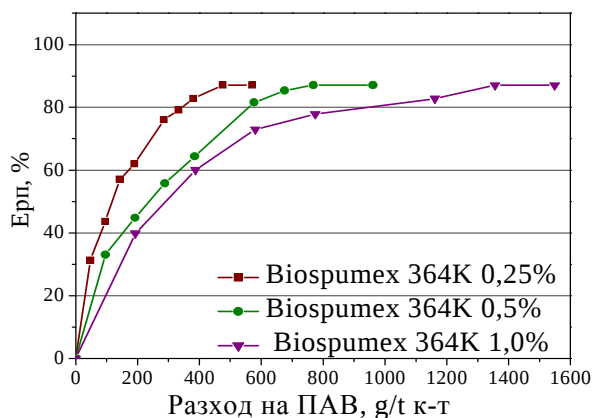
От изследваните сурфактанти най-добро разрушаване на пяната се постига при Antispumin NPK (91,3 %, при разход 403,25 g/t к-т), Bublex 250 (92,6 % при разход 199,18 g/t к-т) и Aerodri 104 (93,5 % при разход 202,82 g/t к-т). Графиките ясно показват, че концентрацията на разтворите на сурфактантите не влияе върху крайната ефективност на разрушаване на трифазната пяна. Ефективността на разрушаване на пенния слой съществено зависи от разхода на реагент за дадена концентрация. Следователно максимална ефективност на разрушаване се получава при ниска концентрация на разтвор на сурфактант. Установи се, че концентрация на разтвора - 0,25 % е критична концентрация за всички изследвани сурфактанти при достигане на максималната ефективност на разрушаване на пенния слой.

1.4. Тест за разрушаване на трифазна флотационна пяна чрез разбъркване на пробата

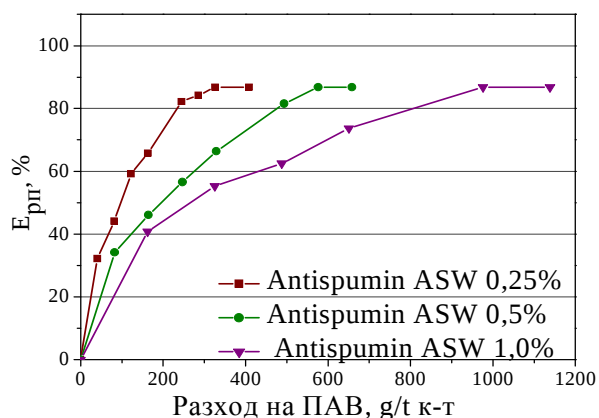
При метода на разбъркването се използва стъклена пръчка за хомогенизиране на пробата след добавяне на определено количество сурфактант. Изследва се ефективността на разрушаване на трифазната пяна в зависимост от разхода на сурфактант.



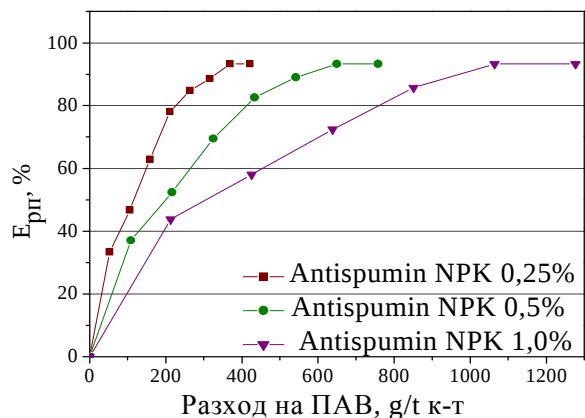
Фиг. 11. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Antispumin SGM



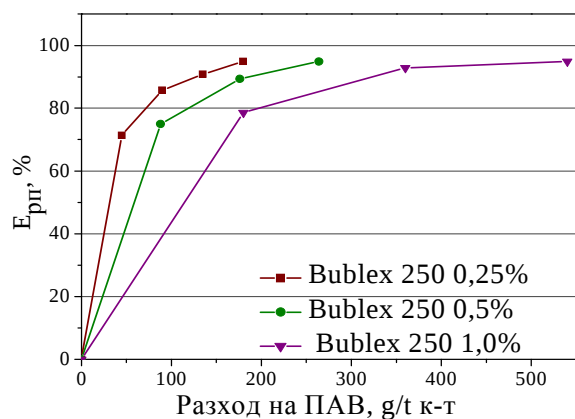
Фиг. 12. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Biospumex 364K



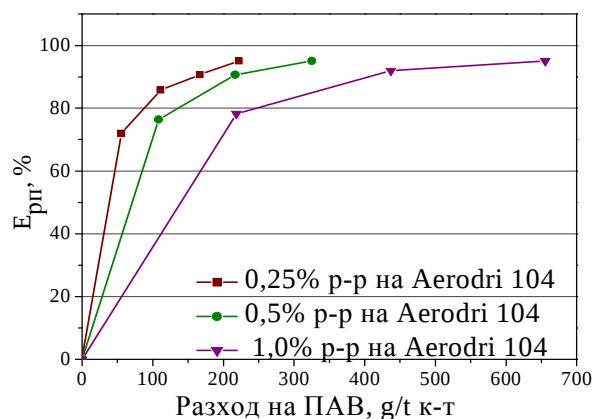
Фиг. 13. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Antispumin ASW



Фиг. 14. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Antispumin NPK



Фиг. 15. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Bublex 250



Фиг. 16. Разрушаване на пяната чрез разбъркване със стъклена пръчка и добавянето на Aerodri 104

Получените резултати отново показват, че най-ефективни за намаляване обема на пяната са реагентите: Antispumin NPK (93,3 % при разход 368,97 g/t к-т), Bublex 250 (94,9 % при разход 179,75 g/t к-т) и Aerodri 104 (95,1 % при разход 222,14 g/t к-т).

От графиките се забелязва, че концентрацията на разтворите на реагентите не играе съществена роля при крайната ефективност на разрушаване на трифазната пяна. За ефективността на разрушаване на пенния слой съществено значение има разхода на реагент при дадена концентрация.

Може да се каже, че максимална ефективност на разрушаване се получава при ниска концентрация на разтвор. Констатира се, че за достигане на максималната ефективност на разрушаване на пенния слой 0,25% концентрация на разтвора е критична концентрация за всички изследвани сърфактанти.

Експерименталните резултати показват, че методът чрез разбъркване със стъклена пръчка е по-ефективен от „Shaking” метода. При всички изследвани сърфактанти с този метод се постига по-висока ефективност на разрушаване на

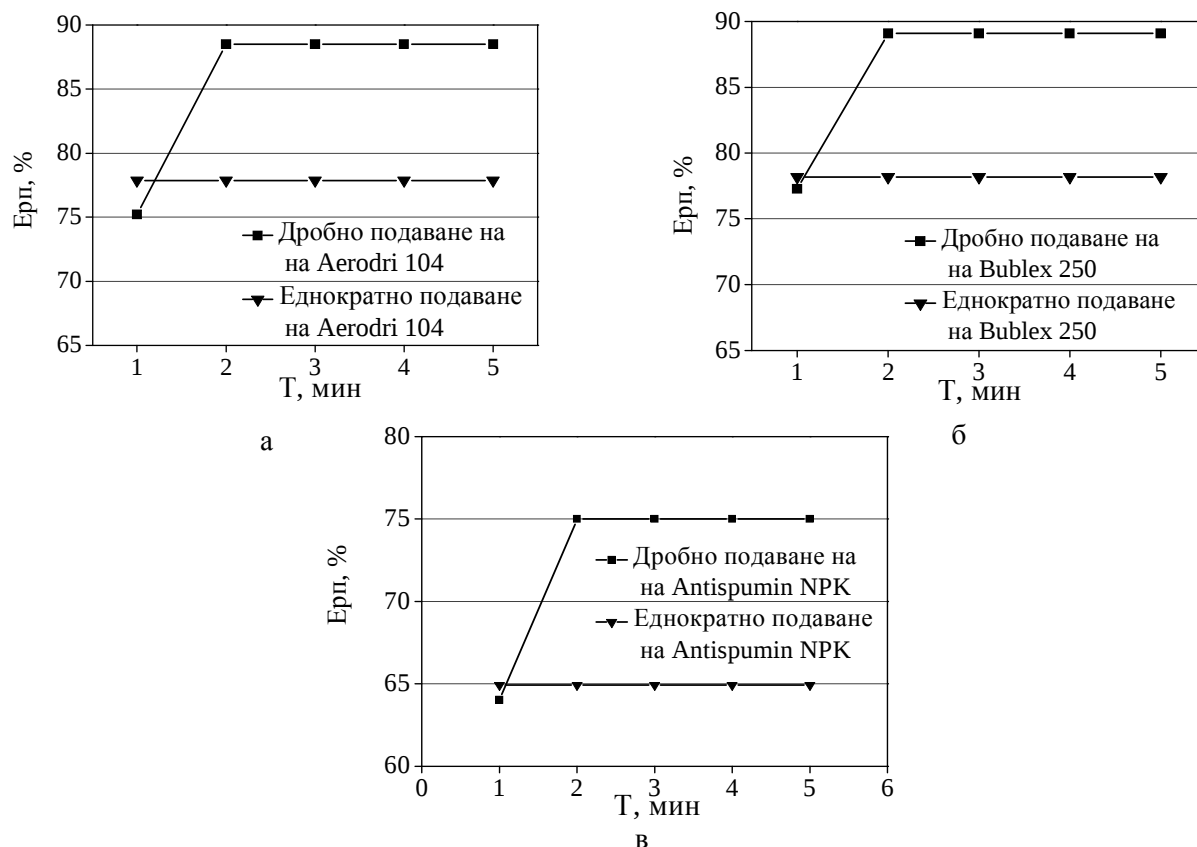
флотационната пяна и съответно по-нисък разход на реагент. Това се дължи на по-доброто хомогенизиране на системата и по-ефективното усвояване на реагентите в целия обем на пяната.

1.5. Тест за разрушаване на трифазна флотационна пяна чрез хомогенизиране на пробата с плунжер

При тестовете с плунжер е изследвана ефективността на разрушаване на пяната в зависимост от времето, като се извършва по два начина:

✓ чрез еднократно добавяне на сърфактанта и пресмятане на E_{rp} на първата и всяка следваща минута до установяване на постоянна стойност на E_{rp} .

✓ чрез дробно добавяне на сърфактант - определена част от сърфактанта се добавя към пробата, отчита се E_{rp} на първата минута, след което се добавя и останалото количество от сърфактанта и се отчита на всяка следваща минута до установяване на постоянна стойност на E_{rp} .



Фиг. 17. Зависимост между ефективността на разрушаване на пяната и времето за разрушаването ѝ:

а) с Aerodri 104; б) с Bublex 250; в) с Antispumin NPK

Графиките на Фиг. 17 изобразяват зависимостта между ефективността на разрушаване на пяната и времето, за което тя се разрушава. Те показват, че за намаляването на пенния слой дробното подаване и при трите сърфактанта има по-голям ефект, отколкото еднократното подаване на реагента.

При еднократното подаване на ПАВ ефективността на разрушаване запазва една и съща стойност за целия период от време, докато при дробното подаване тя рязко нараства, след което остава константа.

Експерименталните резултати категорично показват предимствата на дробно подаване на сърфактант при химическия метод на разрушаване на трифазна пяна. Дробното подаване на ПАВ води до по-ефективно разрушаване на пяната в целия ѝ обем.

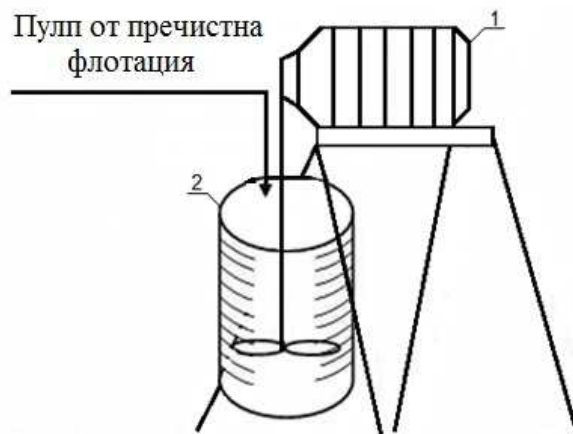
2. Механични тестове за разрушаване на трифазна флотационна пяна

2.1. Механични устройства

Механичното разрушаване на много устойчива трифазна пяна е един от пътищата за решаване на проблема. Провеждането на тестовите е извършено с помощта на механични устройства - механична бъркалка, пакет от асиметрични перфорирани повърхности и вибрационна апаратура.

2.2. Тестове с механична бъркалка

За целта е използвана лабораторна механична бъркалка и еднолитров мерителен градуиран цилиндър (фиг. 18). Тества се свежа проба от последната пречистна операция на медна флотация. Тестът се провежда при различни обороти на двигателя на механичната бъркалка.

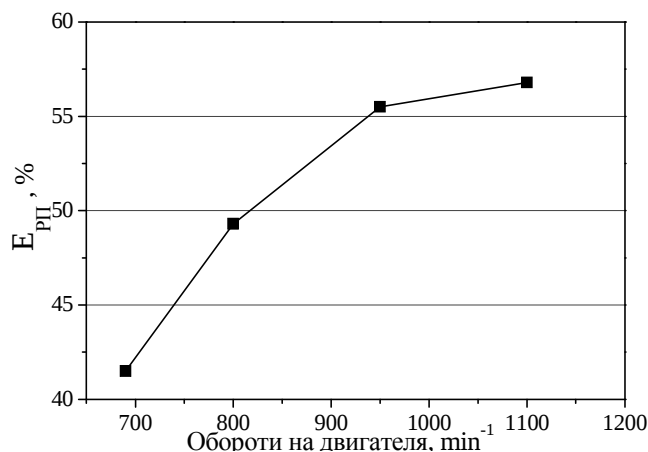


Фиг.18. Лабораторна апаратура за разрушаване на пяната:
1 - двигател с бъркалка; 2 - градуиран мерителен цилиндър

Изследва се зависимостта между оборотите на двигателя на механичната бъркалка и ефективността на разрушаване на пяната. Резултатите от теста са изложени в Табл. 6 и на Фиг. 19.

Табл.6. Тестовите с механична бъркалка

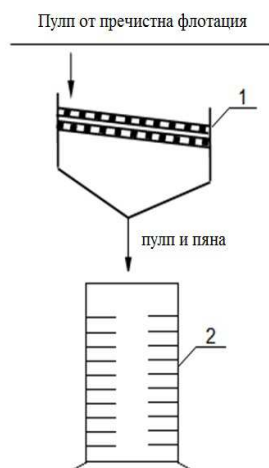
Обороти на двигателя, min^{-1}	Средни стойности		$E_{\text{рп}}, \%$
	V_0, cm^3	V_1, cm^3	
690	229	134	41,5
800	229	116	49,3
950	229	102	55,5
1100	229	99	56,8



Фиг. 19. Тестовите с механична бъркалка

При тези опити се забелязва, че обемът на газовата фаза намалява, благодарение на механичното въздействие върху нея. От графиката се вижда, че най-голямата ефективност за разрушаване на пяната (56,8 %) се получава при максималния брой обороти на двигателя на механичната бъркалка, след което дебелината на пенния слой се запазва постоянна. Трябва да се отбележи, че при обороти на двигателя над 1100 min^{-1} се формира вортекс. Поради тази причина следващите експерименти са проведени при 950 min^{-1} .

2.3. Тестове с неподвижен пакет от асиметрични перфорирани повърхности



Фиг.20. Лабораторна апаратура за разрушаване на пяната:

1 - пакет от асиметрични ситови повърхности;

2 - градуиран мерителен цилиндър

Апаратурата (фиг. 20), с която се провеждат тестовете, се състои от пакет асиметрични перфорирани повърхности. Отворите на горната и долната повърхност са съответно 2 mm и 1 mm и са разположени шахматно едни спрямо други. Пулпът преминава през неподвижния пакет от асиметричните перфорирани повърхности, благодарение на които част от пяната се разрушава механично. Измерва се началната и крайната височина на пенния стълб в мерителния цилиндър. Изчислява се ефективността на разрушаване на пяната по формула (1).

Резултатите от теста са изложени в Табл. 7.

Табл. 7. Тестове с неподвижен пакет от асиметрични

Обем на пяната		Е _{рп} , %
V ₀ , cm ³	V ₁ , cm ³	
196	102	47,96

Експерименталните резултати показват, че пулпо-пенната система намалява газовата си фаза почти 50 %, благодарение на преминаването ѝ през отворите на асиметрично разположените повърхности.

2.4. Тестове с вибрационна апаратура

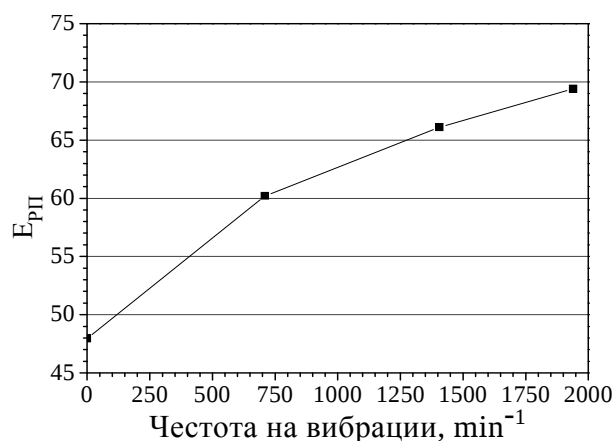
Провеждат се изследвания за влиянието на честотата на вибрациите върху ефективността на разрушаване на пяната на проба, взета от последната пречистна операция на флотационния цикъл. За тази цел се извършват серия от експерименти, при които се използват различни честоти на вибрационната апаратура. Асиметричните перфорирани повърхности са монтирани върху вибрационна установка, която осигурява промяна на честотата на вибрации. Силата, предизвикваща праволинейни трептения на ситовите повърхности, се поражда от правотоков двигател, снабден с два дебаланса. Резултатите от тестовете са представени в Табл. 8.

Табл.8. Тестовете с вибрационна апаратура

Честота на вибрации, min ⁻¹	Средни стойности		Е _{рп} , %
	V ₀ , cm ³	V ₁ , cm ³	
710	196	78	60,2
1406	196	66	66,3
1940	196	60	69,4

Фигура 21 илюстрира зависимостта между ефективността на разрушаване на пяната и честотата на вибрации на вибрационната апаратура.

Процесът на разрушаване на трифазната пяна се реализира благодарение на механичното разкъсване на тънките течни филми, изтичане на междофилмовата течност и дрениране на частиците обратно в пулпа. Визуално се установява, че пяната става по-подвижна, намалява се обемът на газовата фаза. Нарушава се целостта на пенния слой в пулпа, поради механичното



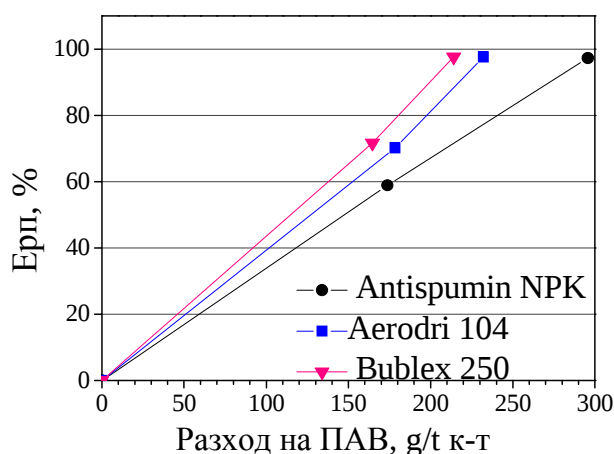
Фиг. 21. Тест за разрушаване на пяната чрез вибрации

разрушаване на мехурчетата в пенната фаза и изтичане на междуфилмовата течност. Забелязва се, че ефективността на разрушаване на пяната в пулпа нараства с увеличаване на честотата на вибрации - при 1940 min^{-1} се достига ефективност на разрушаване 69,4 %.

3. Комбинирани химико-механични методи

3.1. Комбинация от „Shaking“ метод и механична бъркалка с добавяне на съurfактант на два етапа

При този експеримент реагента се подава на два етапа. Първоначално пулпо-пенната система се хомогенизира с „Shaking“ метода, като се добавя разтвор на съurfактант (Antispumin NPK, Aerodri 104 и Bublex 250) с концентрация 0,5 %, при която започва процесът на разрушаване. Вторият етап на разрушаване на пяната се реализира посредством механична бъркалка с постоянни обороти на двигателя - 950 min^{-1} , като към нея се добавя от същия реагент, но с концентрация на разтвора 0,25 %, до достигане на възможно максимално разрушаване на пяната. Резултатите от теста са изобразени на Фиг. 22.

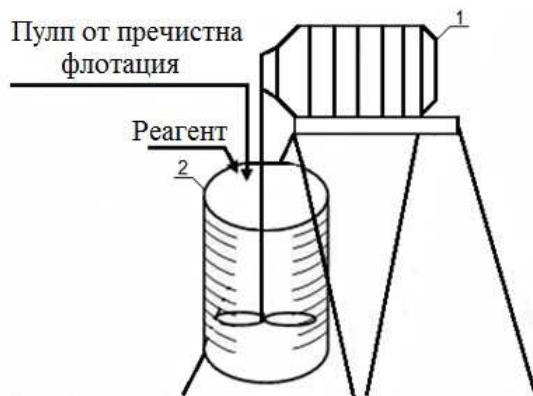


Фиг. 22. Комбинация от „Shaking“ метод и механична бъркалка с добавяне на съurfактант

При тази комбинация от химичен и химико-механичен подход се получават стойности за ефективността на разрушаване на пенния стълб над 95 %, които са по-големи от тези при химичните и механичните методи.

3.2. Комбинация от механична бъркалка с добавяне на реагент

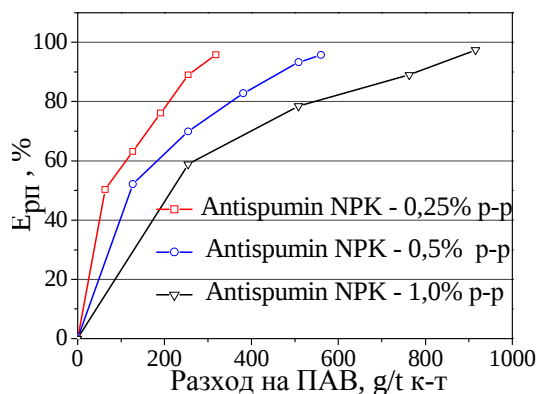
При този метод (Фиг. 23) необходимото количество реагент се добавя едновременно при разбъркването на пулпо-пенната система чрез механична бъркалка с постоянни обороти на двигателя - 950 min^{-1} . Идеята е разрушаването



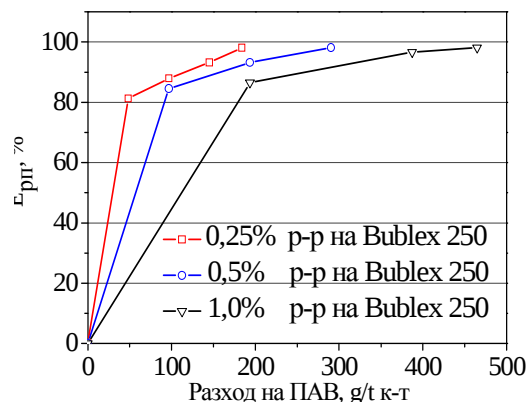
Фиг.23. Лабораторна апаратура за разрушаване на пяната:
1 - двигател с бъркалка; 2 - градуиран мерителен цилиндър

на пяната да се реализира благодарение на едновременното въздействие на механичното разрушаване и трансформирането на твърдата фаза от хидрофобна в хидрофилна. Измерва се началната и крайната височина на пяната в цилиндъра. Определя се ефективността на разрушаване на пяната по формула (1). Изследва се ефективността на разрушаване на трифазната пена в зависимост от разхода на сърфактант.

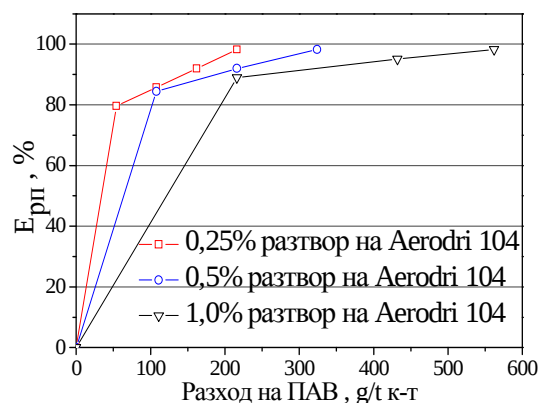
Експерименталните резултати от тестовете са представени графично (Фиг. 24, 25 и 26).



Фиг. 24. Комбинация от механична бъркалка и Antispumin NPK



Фиг. 25. Комбинация от механична бъркалка и Bublex 250

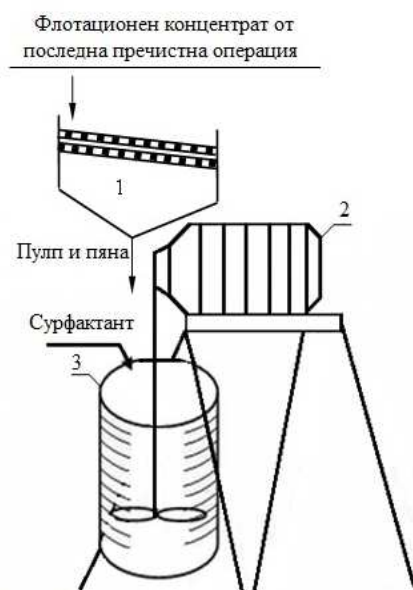


Фиг. 26. Комбинация от механична бъркалка и Aerodri 104

Резултатите от проведените експерименти ясно показват, че използването на комбинацията от химичен и механичен метод повишава ефективността на разрушаване на пясъка: за Aerodri 104 тя е 98,2 % при разход 195,24 g/t к-т, за Bublex 250 - 98,1 % при разход 192,43 g/t к-т и за Antispumin NPK - 97,5 % при разход 317,98 g/t к-т.

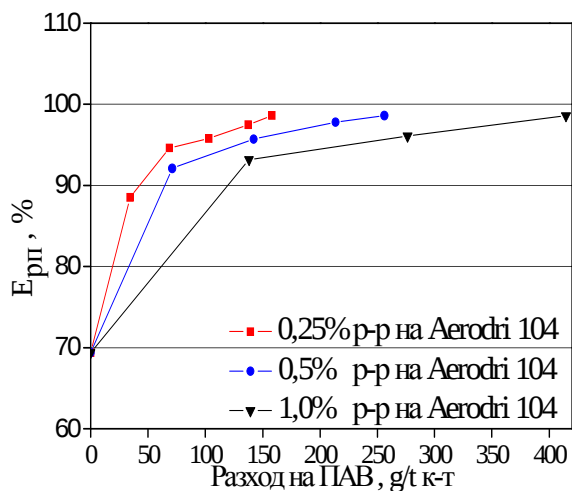
3.3. Комбинация от вибрационна уредба и механична бъркалка с добавяне на реагент

Свежа проба от пенния продукт на последна пречистна операция се подлага на разрушаване чрез вибрации. Процесът на разрушаване продължава с механична бъркалка и добавянето на реагент с различни концентрации на разтвора на реагента (Фиг. 27).

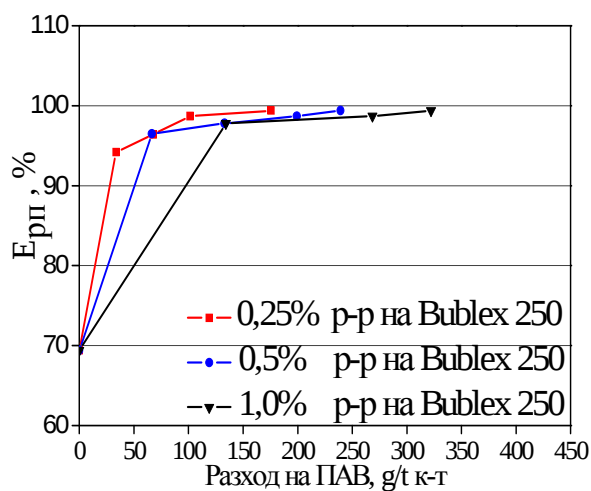


Фиг.27. Лабораторна апаратура за разрушаване на пясъка:
1 - вибрационна апаратура; 2 - двигател с бъркалка;
3 - градуиран мерителен цилиндър

Замерват се началната и крайна височина на пенния стълб и се определя ефективността на разрушаване на трифазната пяна. Резултатите от тестовете са представени на Фиг. 28 и Фиг. 29.



Фиг. 28. Разрушаване на пяната с вибрационна уредба, механична бъркалка и добавянето на Aerodri 104



Фиг. 29. Разрушаване на пяната с вибрационна уредба, механична бъркалка и добавянето на Bublex 250

Експерименталните резултати ясно показват, че при тази комбинация от механично и химико-механично въздействие на трифазната флотационна пяна се постига почти пълно разрушаване: 98,6 % при разход на Aerodri 104 - 57,67 g/t к-т и 99,4 % при разход на Bublex 250 - 175,19 g/t к-т.

Изводи от проведените моделни физикохимични изследвания и лабораторни стендови тестове за разрушаване на трифазна пяна

От проведените моделни физикохимични изследвания и лабораторни стендови тестове за разрушаване на трифазна пяна могат да се направят следните изводи:

1. Изследваните сърфактанти рязко променят омекрящите свойства на медните минерали, като от подчертано хидрофобни те се превръщат в хидрофилни.

2. Използваните ПАВ намаляват повърхностното напрежение на границата течност - газ. Това води до разкъсване на течните ципи, последваща коалесценция на мехурчетата и в крайна сметка до разрушаване на пяната.

3. Опитните резултати ясно показват, че и трите сърфактанта Antispumin NPK, Aerodri 104 и Bublex 250 са силни повърхностни депресори. И трите сърфактанта значително намаляват стабилността на пенния слой и почти го разрушават.

4. Концентрацията на разтворите на сърфактантите не влияе върху крайната ефективност на разрушаване на трифазната пяна. Ефективността на разрушаване на пенния слой съществено зависи от разхода на реагент за дадена

концентрация. Дробното подаване на сърфактант е по-ефективно от еднократното подаване.

5. Максимална ефективност на разрушаване се реализира с ниска концентрация на разтвор на сърфактант. Критична концентрация за всички изследвани сърфактанти е 0,25 % при достигане на максималната ефективност на разрушаване на пенния слой.

6. При механичните методи структурата на трифазната пяна механично се разрушава под въздействието на приложените механични усилия. От трите тествани подхода най-висока степен на ефективност на разрушаване се постига с помощта на вибриращ пакет от асиметрични повърхности. Ефективността на разрушаване на пяната в пулпа, нараства с увеличаване на честотата на вибрации - при 1940 min^{-1} се достига ефективност на разрушаване 69,4 %.

7. Получените експериментални резултати от лабораторните стендови тестове категорично показват, че химичният подход при разрушаване на трифазната пяна е по-ефективен от механичния метод. Ефективността на разрушаване на пяната чрез използването на ПАВ е с около 30 % по-висока в сравнение с тази при механичното разрушаване.

8. Едновременното въздействие на механичното разрушаване и физикохимичното трансформиране на твърдата фаза от хидрофобна в хидрофилна е най-ефективно за разрушаване на минерализирани пени.

9. Получените експериментални резултати от лабораторните стендови тестове с химико-механични методи за разрушаване на трифазни пени категорично показват, че комбинацията от механично и химико-механично въздействие върху флотационната пяна е най-ефективна, при която се постига почти пълно разрушаване на пенната формация - над 99 %.

Тестове в реални условия

1. Методика на провеждането на експеримента

Въз основа на получените резултати от стендовите изследвания е конструирана инсталация за химико-механично разрушаване на минерализирана трифазна пяна, работеща в реални условия (Фиг. 30). Същата е монтирана на работната площадка на обезводнителния цикъл на ОФ „Асарел“. Инсталацията се захранва с част от пенния продукт от последния стадий на флотационния процес, постъпващ в първи сгъстител, посредством байпас, монтиран на тръбата, захранваща сгъстителя.

Апаратурата се състои от взаимозаменяеми модули. Дебитът на постъпващия поток се регулира с кран, монтиран на байпаса. Пулпът преминава през вибриращ пакет от ситови повърхности и постъпва в съд, в който е поставена бъркалка с електрическо задвижване. Опитите се провеждат при постоянни обороти на двигателя на бъркалката.



Фиг. 30. Инсталация за разрушаване на флотационна пяна в непрекъснат цикъл
1 - захранващата тръба на сгъстителя, 2 - байпас с кран, 3 - токоизправител,
4- вибрационен апарат, 5 - механична бъркалка

Реализирана е комбинацията от механично и химико-механично въздействие върху флотационната пяна, с която в лабораторни условия е постигнато почти пълно разрушаване на пенната формация.

2. Оптимизиране основните параметри на процеса на разрушаване на трифазната пяна в условията на ОФ „Асарел“

С цел намаляване броя на експериментите в реални условия тестовете са проведени по предварително зададена програма - планиране на експеримента.

Като най-удобен в случая начин за изследване се явява дисперсионният анализ, като тук всяко наблюдение служи за едновременно оценка на всички фактори и тяхното взаимодействие. Целта на дисперсионния анализ е оптимизиране основните параметри на процеса на разрушаване на флотационна пяна: съдържание на твърда фаза в медния концентрат, разход на повърхностно активно вещество и ефективност на разрушаване на пенния слой.

Изменението на факторите се извършва на различен брой нива. Методът позволява да се извършва приблизителна оптимизация на процеса чрез подбор на най-подходящата от изследваните стойности. Тъй като факторите, които подлежат на изследване са три основни групи, се използва латинския квадрат.

Задачата, която трябва да се реши с тестовете в реални условия, е:

- ✓ получаване на модел с фиксирани нива при планиране с латински квадрат;

- ✓ с помощта на дисперсионния анализ да се изберат: най-високо съдържание на твърда фаза в медния концентрат, най-малък разход на реагент и най-висока ефективност на разрушаване на пенния слой.

Параметрите, които не се променят, са съответно:

- ✓ Начален обем на пенния стълб: $V_0 = 3550 \text{ cm}^3$;
- ✓ Съдържание на твърда фаза в пулпа на входа в захранващия продукт - 29,51 %;
- ✓ Съдържанието на твърда фаза в сгъстения продукт на сгъстителя по времето на провеждане на експериментите - 65,07 %.

За да се извърши по-комплексно пълно изследване, се променят следните групи фактори:

- ✓ дебитът на пулпа на входа на апаратурата - $D_{\text{вх}}$ - 9 l/min, 8 l/min и 7 l/min;
- ✓ дебитът на пулпа на изхода на агитационния чан - $D_{\text{изх}}$ - 5 l/min, 6 l/min и 7 l/min;
- ✓ концентрацията на разтвор от сурфактант Bublex 250 - C %, - 1 %, 0,5 % и 0,25 %.

Комбинацията от съответните режими на провеждането на експериментите, както и резултатите от проведените тестове, са показани в Табл. 9, където:

V_1 - краен обем на пенния стълб, cm^3 ;

P_c - изсушена твърда фаза в получения краен концентрат, g;

$\%_{\text{тв}}$ - съдържание на твърда фаза в сгъстения продукт, %;

R_1 - разход на сурфактант, ml;

R_2 - разход на сурфактант, g/t к-т;

$E_{\text{рп}}$ - ефективност на разрушаване на трифазната пена, %.

Табл.9. Режим и параметри на всеки опит /като комбинация/

Комбинация по латински квадрат	Дебит, l/min		V ₁ , cm ³	P _c , g	% _{ТВ}	R ₁ , ml			R ₂ , g/t к-т			E _{рп} , %					
						C, %			C, %			C, %					
	D _{вх}	D _{изх}				1,0	0,5	0,25	1,0	0,5	0,25	1,0	0,5	0,25			
I 1 A	9	5	107	5697,8	66,27	190			322,8			97					
II 1 B	8	5	71	6041,2	72,02		310			248,4			98				
III 1 C	7	5	142	5558,4	65,28			400			174,2			96			
I 2 B	9	6	107	6946,5	78,44		330			229,9			97				
II 2 C	8	6	107	5818,1	68,5			450			187,2			97			
III 2 A	7	6	71	5926,6	70,56	220			359,3			98					
I 3 C	9	7	213	6335,7	71,53			500			191			94			
II 3 A	8	7	71	6486,5	74,18	210			313,4			98					
III 3 B	7	7	107	6152,5	72,75		360			283,2			97				

Тестове в реални условия с получените оптимални режими

След провеждането на експериментите при предварителното им планиране, направените изчисления и сравняването на дисперсиите (внесени от всеки фактор при промяна на нивата му) с дисперсията на възпроизводимостта,

изчислена по резултатите от всички опити, се провеждат опити с получените оптимални режими, които не са сред предварително зададените режими. С помощта на дисперсионния анализ са постигнати оптимални режими на процеса на разрушаване на вредни минерализирани пени, при които се реализират: най-висока ефективност на разрушаване на пенния слой, най-малък разход на сурфактант и най-високо съдържание на твърда фаза в медния концентрат. Резултатите са представени в табл.10.

Табл.10. Тестове в реални условия с получените оптимални режими

Комбинация по латински квадрат	Дебит, l/min		V ₁ , cm ³	P _c , g	% _{тв}	R ₁ , ml			R ₂ , g/t к-т			E _{пр} , %		
	Д _{вх}	Д _{изх}				C, %			C, %			C, %		
						1,0	0,5	0,25	1,0	0,5	0,25	1,0	0,5	0,25
I 3 B	9	7	107	7346,41	79,2		350			230,6			97	
I 1 C	9	5	142	6513,02	76,28			490			182,1			96
II 2 A	8	6	71	6891,07	78,8	260			365,2			98		

Постигнато е почти пълно разрушаване на пяната от последна пречистна флотация - 98 %. Комбинацията, при която се достига тази ефективност на разрушаване, е при дебит на пулпа на входа на апаратурата 8 l/min, дебит на пулпа на изхода на агитационния чан - 6 l/min и концентрация на разтвора на сурфактант 0,5 %.

Установи се, че по време на провеждането на експериментите съдържанието на твърда фаза в сгъстения продукт се е повишило с около 14 % спрямо съдържанието на твърда фаза в сгъстения продукт от сгъстителя.

Изводи от проведените тестове в реални условия

От така проведените експерименти в реални условия можем да заключим, че:

1. Методът на латинския квадрат е приложим при планиране на експерименти в реални условия и оптимизиране на основните параметри на процеса на разрушаване на вредни трифазни пени.

2. Получените резултати от тестовете в реални условия потвърждават тези от лабораторните стендови изследвания за разрушаване на вредни трифазни пени.

3. Доказано е в реални условия, че комбинацията от механично въздействие и последващо химико-механично въздействие е най-ефективна при разрушаване на минерализирани пени.

ОБЩИ ИЗВОДИ

1. По повърхността на радиалните сгъстители в ОФ „Асарел“ непрекъснато се образува дебел слой жилава, суха, стабилна, трудно разрушима пяна, в която се съдържат фини частици с размери под 40 μm с високо съдържание на мед.

2. Получените резултати от проведения мониторинг дават ясна представа за протичането на т.нар. процес на вторично набогатяване в сгъстителите. Във формиралата се пенна формация протича процес на набогатяване на фините медни минерални частици. Съдържанието на полезен компонент (в случая мед) в различните части на пенния слой е различно. Резултатите показват, че сгъстените продукти от I^{ви} и II^{ри} сгъстител имат по-ниско съдържание на твърда фаза, отколкото пяната на повърхността на сгъстителите. Съдържанието на мед в пяната е по-високо, отколкото това в концентрата от последната пречистна флотация. Съдържанието на мед в пяната на всички изследвани фракции е по-високо в сравнение със съдържанието на мед в сгъстените продукти на същите фракции.

3. Съдържанието на SiO_2 е по-ниско в пяната на повърхността на сгъстителите в сравнение с това в концентрата и в сгъстения продукт. Съдържанието на Al_2O_3 в концентрата от последната пречистна флотация и в сгъстения концентрат са приблизително еднакви. Следователно един от начините за разрушаване на пяната е трансформирането на хидрофобните халкопиритни частици в хидрофилни.

4. По време на процеса сгъстяване се получават преливи с високо съдържание на твърда фаза и високо съдържание на мед. Загубите на мед чрез преливите са значителни и са предимно за сметка на сгъстения продукт, а от там и за крайния концентрат. Част от фините частици - под 30 μm , преминават от пяната в преливите, което прави невъзможно използването им като оборотна вода. Това води до допълнителни разходи и проблеми с оборотната вода, което налага използването още на един - контролен сгъстител за утаяване на преливите и още на един дисков вакуум филтър за филтрация на фините минерални частици.

5. Проведените моделни физикохимични изследвания показват, че изследваните сърфактанти рязко променят омекрящите свойства на медните минерали, като от подчертано хидрофобни те се превръщат в хидрофилни. Тези повърхностно активни вещества намаляват повърхностното напрежение на границата течност - газ. Това води до разкъсване на течните ципи, последваща коалесценция на мехурчетата и в крайна сметка до разрушаване на пяната.

6. Установено е, че три от изследваните сърфактанти Antispumin NPK, Aerodri 104 и Bublex 250 са силни повърхностни депресори. И трите сърфактанта значително намаляват стабилността на пенния слой и почти го разрушават.

7. Лабораторните стендови тестове показват, че ефективността на разрушаване на пенния слой съществено зависи от разхода на реагент за дадена концентрация. Дробното подаване на сърфактант е по-ефективно от еднократното подаване. Максимална ефективност на разрушаване се реализира при ниска концентрация на разтвор на сърфактант. Критична концентрация за всички изследвани сърфактанти е 0,25 % при достигане на максималната ефективност на разрушаване на пенния слой.

8. От тестваните в лабораторни условия механични въздействия за разрушаване на трифазна пяна най-висока степен на ефективност се постига с помощта на вибриращ пакет от асиметрични повърхности. Ефективността на разрушаване на пяната в пулпа нараства с увеличаване на честотата на вибрациите.

9. Получените експериментални резултати от лабораторните стендови тестове определено показват, че химичният подход при разрушаване на трифазната пяна е по-ефективен от механичния метод. Ефективността на разрушаване на пяната чрез използването на ПАВ е с около 30 % по-висока в сравнение с тази при механичното разрушаване.

10. Едновременно въздействие на механичното разрушаване и физикохимичното трансформиране на твърдата фаза от хидрофобна в хидрофилна е ефективно за разрушаване на минерализирани пени.

11. Получените експериментални резултати от лабораторните стендови тестове с химико-механични методи за разрушаване на трифазни пени категорично доказват, че комбинацията от механично и химико-механично въздействие върху флотационната пяна е най-ефективна, при която се постига почти пълно разрушаване на пенната формация.

12. Методът на латинския квадрат е приложим при планиране на експерименти в реални условия и оптимизиране на основните параметри на процеса на разрушаване на вредни трифазни пени.

13. Получените резултати от тестовете в реални условия потвърждават тези от лабораторните стендови изследвания за разрушаване на трифазни пени.

14. Доказано е в реални условия, че комбинацията от механично и последващо химико-механично въздействие е най-ефективна при разрушаване на минерализирани пени.

НАУЧНО - ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Резултатите от проведените моделни физикохимични изследвания, стендови лабораторни изследвания и тестове в реални условия на ОФ „Асарел“ в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд се свеждат до следните основни приноси:

1. Разработена е методика за мониторинг на обезводнителните процеси и продукти в цикъла на обезводняване на медния концентрат в ОФ „Асарел“.

2. За първи път е проведено многоаспектно изследване на пенния продукт от последна пречистна флотация и продуктите от цикъла на обезводняване на медния концентрат.

3. Разработена е комплексна методика, състояща се от алтернативни методи за изследване процеса на разрушаване на вредна трифазна пяна, включващи моделни физикохимични изследвания, лабораторни стендови експерименти и тестове в реални условия.

4. Установено е влиянието на физикохимичните характеристики (повърхностно напрежение на междуфазовата граница течност - газ, омокряне на минералните частички) на трифазната пяна върху нейната устойчивост.

5. Усъвършенствани са химичните методи на разрушаване на трифазна пяна с прилагане на нови, неизползвани до момента повърхностно активни вещества. Анализирани са влиянието на разхода, начинът на подаване и типът на използваните ПАВ върху ефективността на разрушаване на флотационна пяна.

6. Получени са нови данни за влиянието на различни видове сърфактанти върху намаляване обема на вредната трифазна пяна.

7. Доказано е, че едновременното въздействие на механичното разрушаване и физикохимичното трансформиране на твърдата фаза от хидрофобна в хидрофилна е ефективно за разрушаване на минерализирани пени.

8. Разработен е механичен метод за разрушаване на минерализирани трифазни флотационни пени чрез вибрации. Създадено е вибрационно устройство, състоящо се от пакет асиметрични перфорирани повърхности.

9. Чрез определяне степента на разрушаване на пяната под въздействието на приложените вибрации е доказано влиянието на честотата и амплитудата на вибрациите върху разрушаването на пяната.

10. Разработен е химико-механичен метод за разрушаване на минерализирани трифазни пени. Създадена е установка за химико-механично разрушаване на флотационни пени, работеща в прекъснат и непрекъснат цикъл на работа.

11. На база получените резултати от стендови лабораторни изследвания е извършена проверка на химико-механичен метод за разрушаване на флотационна пяна в реални условия в ОФ „Асарел“.

12. Доказано е, че използваният многофакторен план е приложим при планиране на експерименти в реални условия и оптимизиране на основните параметри на процеса на разрушаване на вредни трифазни пени.

13. Доказано е в лабораторни и реални условия, че комбинацията от механично и последващо химико-механично въздействие върху флотационната пяна е най-ефективна при разрушаването ѝ.

14. Постигнато е почти пълно разрушаване на флотационната пяна в реални условия на ОФ „Асарел“.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Krasteva M., I. Nishkov, D. Nikolov, Performance of the Dewatering Processes in Assarel Concentrator, in: Proc. of XIIth Balkan Mineral Processing Congress, 2007, Delphi, Greece, pp.317-322.

2. Krasteva M., L. Tzotzorkov, D. Nikolov, I. Grigorova, I. Nishkov, Reagent - Enhanced Destruction of Flotation Froths, in: Proc. of XXIVth International Mineral Processing Congress, 2008, Beijing, China, pp.2116-2122.

3. Nishkov I., M. Krasteva and I. Grigorova, Froth collapse de-aeration method for flotation concentrates, in: Proc. of XIIIth Balkan Mineral Processing Congress, 2009, Bucharest, Romania, pp.159-165.

4. Нишков И., Л. Цоцорков, М. Кръстева, И. Григорова, Химико-механичен метод за разрушаване на флотационни пени, Годишник на МГУ, том 52, свитък II, Добив и преработка на минерални суровини, 2009, стр.185-188.