

СЪЗДАВАНЕ И ПОВЕДЕНИЕ НА ВЪЗДУШНИ МЕХУРЧЕТА ВЪВ ВИБРОАКУСТИЧНО ПОЛЕ

Методи Методиев

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: metodiev@mgu.bg

Кремена Деделянова

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: dedelyanova@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Разгледан е механизма за създаване на въздушни мехурчета във вибрационна колонна флотационна машина при вибриране на аератора във вертикална посока и влиянието на конструктивните му параметри върху процеса на диспергиране на газовата фаза. Изследвано е разпределението на вибрационното поле по височината на водния стълб в зависимост от честотата и амплитудата на приложените към аератора колебания във водна среда и при наличие на газови мехурчета. Изказана е хипотеза, обясняваща забавянето на скоростта на изплуване на газовите мехурчета във вибрационно поле с поглъщане на енергията на вибрациите от мехурчетата при тяхното вибриране в резултат на променливото налягане на звуковата вълна и промяната във взаимодействието между мехурчето и течността.

ВЪВЕДЕНИЕ

Създаването на въздушни мехурчета в течности е широко използван начин за осъществяване на различни технологични процеси, а при преработката на минералните продукти е основен процес при флотационното обогатяване.

Независимо от приложението на процеса аериране неговата ефективност се определя от общата повърхност на границата газ – течност, за образуването на която е необходимо да се изразходва определена енергия. Освен това, приложението на процеса при флотационното обогатяване, поставя условия по отношение на едрината на получените мехурчета, определяща възможността им да транспортират в пенния слой определен брой твърди частици.

За осъществяването на процеса се използват различни механични, пневматични, хидравлични и други комбинирани методи, които, чрез използването на различна по вид енергия диспергират газовата фаза.

При колонната флотационна машина диспергирането на газовата фаза е необходимо да осигури минимален размер на получените в долната част на машината мехурчета, тъй като при изплуването им към повърхността, поради голямата височина на водния стълб и съответно разликата в хидравличното налягане, техният размер се увеличава. Поради продължителното време на контакт на диспергираната газова фаза с твърдите частици, в пенния слой се оказват механично увлечени частици, поради което за подобряване на качеството на концентрата се използва допълнително оросяване на пенния слой с вода.

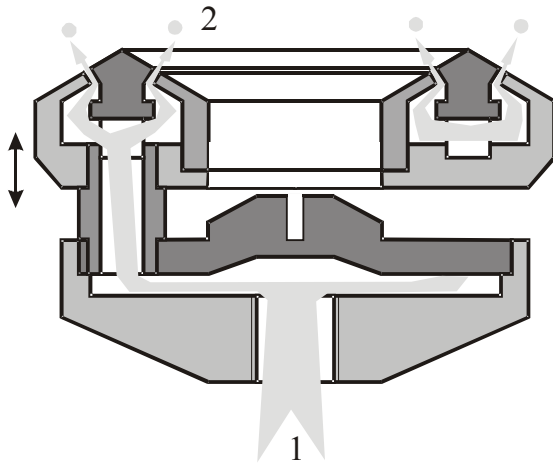
В Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", в катедра "Минерални технологии" е разработен нов тип диспергатор за колонна флотационна машина, при който диспергирането на газовата фаза се извършва чрез използване на вертикални вибрации с определена честота и амплитуда. Този метод за диспергиране, създаден в резултат на дългогодишната работа в катедрата по използване на виброакустичните технологии за интензификация на технологичните процеси, дава възможност да се въздейства не само върху процеса на образуване на мехурчето, но и върху трите фази в целия работен обем на камерата.

ДИСПЕРГИРАНЕ НА ГАЗОВАТА ФАЗА

Диспергирането на газовата фаза в течна среда се извършва чрез пропускането ѝ през пръстеновиден канал в горната част на диспергатора фиг.1. Количеството въздух (фиг.1 – 1) зависи от разликата в налягането на подавания въздух и водния стълб във флотационната машина. Когато диспергатора не вибрира, въздухът се диспергира на големи мехури, които се получават на произволни места по пръстеновидния отвор (фиг.1 – 2), тъй като той не може да лимитира мехури с определена едрина поради характера на отвора. При вибриране на диспергатора характера на процеса образуване на мехури съществено се променя - с повишаване на честотата на вибрациите и повишаване на амплитудата им се намалява едрината на образуваните мехурчета и нараства техният брой. При извършените експерименти и наблюдения се установи, че броя на мехурчетата и съответно с това тяхната едрина зависят от скоростта на вибрациите

$$u = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi),$$
 която може да се

отъждестви с израза $u_v = Af$ - произведение на амплитудата и честотата на колебанията.



Фигура 1. Вибрационен диспергатор на въздух

При вибрирането на диспергатора, върху зараждащото се мехурче от произволен сектор на пръстеновидния процеп, действуват две сили: подемната сила на изместената от мехурчето течност и силата на съпротивлението, породена от обтичането на мехурчето от потока течност, движещ се по наклонената стена на диспергатора. Докато подемната сила винаги е насочена нагоре, то силата на съпротивлението от обтичането е знакопроменливо - в зависимост от фазата на колебанията е насочена или по посока на подемната сила или в обратна посока. Подемната сила нараства с увеличаване на диаметъра на образуващото се мехурче, силата на съпротивлението също нараства с увеличаване на диаметъра на мехурчето, но се променя и по синусоидален закон.

Самото образуване на мехурчето е неопределено по координати, тъй като не се образува от дюзи, а от пръстеновиден процеп и се дължи на случайни промени в определящите фактори. Всичко това предопределя сложния характер на образуването на мехурчета при вибрационно въздействие при дадената конструкция на диспергатора.

За определяне на големината на силите, които действуват при образуване на мехурче при приложено вибрационно въздействие се изхожда от факта, че при образуване на мехурче от дюза, то се откъсва след като подемната сила стане по-голяма от силата на повърхностното напрежение:

$$F_{\text{отк}} = \frac{1}{6} \rho d^3 \quad (1)$$

където: $F_{\text{отк}}$ - силата, откъсваща мехурчето от дюзата;
 d - диаметър на мехурчето;
 ρ - плътност на течността.

Силата на съпротивлението на обтичане е:

$$F_{\text{обт}} = cS \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

c - коефициент на съпротивление;
 S - напречно /миделево/ сечение на мехурчето в плоскост перпендикулярна на посоката на движение на течността;

v - скорост на течността.

Скоростта на движение на течността се променя по синусоидален закон. Ако плоскостта на процепа е успоредна на посоката на вибрациите, тогава скоростта на обтичане е равна на вибрационната скорост:

$$V_{\text{обт}} = A\omega \cos \omega t \quad (3)$$

При другия граничен случай – плоскостта на процепа е перпендикулярна на посоката на вибрациите - скоростта на обтичане е равна на нула /в идеалния случай/. В общия случай - когато плоскостта на процепа сключва определен ъгъл β с посоката на вибрациите, скоростта на обтичане на мехурчето от течността е:

$$V_{\text{обт}} = 2\pi Af \cos \omega t \sin \beta \quad (4)$$

Силата на съпротивление при обтичане:

$$F_{\text{обт}} = \frac{1}{2} c \rho \pi^3 d^2 A^2 f^2 \cos^2 \omega t \sin^2 \beta \quad (5)$$

Както бе посочено по-горе силата, необходима за откъсване на мехурчето от дюзата $F_{\text{отк}}$ се отнася за образуване на мехурче във спокойна течност за определена по размер дюза, като по този начин определяме необходимата сила за преодоляване на повърхностното напрежение. Приемаме априори, че същата сила, ако се приложи върху образуващо се мехурче, при същата дюза ще се получи мехурче с друг диаметър d_1 , т. е. при $F_{\text{отк}} = F_{\text{обт}}$

$$kd^3 = kd_1^2 A^2 f^2 \cos^2 \omega t \quad (6)$$

или диаметърът d_1 на новополученото мехурче при вибрационно въздействие и непроменени други условия ще бъде:

$$d_1 = \frac{d\sqrt{2}}{A^2 f^2 \cos^2 \omega t} \quad (7)$$

Стойността на израза $A^2 f^2 \cos^2 \omega t$ се намира в границите:

$$A^2 f^2 > A^2 f^2 \cos^2 \omega t > 0 \quad (8)$$

В горната и долна точка на колебанията на диспергатора, когато се променя посоката на движение, вибрационната скорост $u_{\text{виб}} = 0$. Тогава образуващите се мехурчета имат възможност да нарастват до по-голям диаметър. От тази точка вибрационната скорост започва да се увеличава и придобива максимална стойност на разстояние равно на амплитудата на вибрациите A , след което отново намалява до нула. По този хармоничен закон се изменят и диаметрите на получаваните въздушни мехурчета.

С вибрирането на диспергатора поради обтичането на стените от водния слой се повишава съпротивлението, което изпитва въздушната струя. В резултат на повишеното съпротивление за въздуха на изхода на пръстеновидния процеп започва образуването на

мехурчета по целия му периметър. Пулсациите на налягането на въздуха са синхронни с колебанията - намаляване на налягането в горната и долната точки на движението на диспергатора /когато се увеличава пропускателната способност на процепа поради намаляване на съпротивлението/ и повишаване при ускоряване.

Според изведените по-горе зависимости използването на вибрациите дава възможност за регулиране на диаметъра на газовите мехурчета в зависимост от параметрите на вибрационното въздействие, което дава възможност за оптимизиране на флотационния процес чрез подобряване диспергацията на газовата фаза. Това има положително влияние при диспергирането на въздуха в колонната флотационна машина, където височината на водния стълб определено

поставя условия към началния диаметър на газовите мехурчета.

Експериментални изследвания

За определяне влиянието на виброакустичното въздействие върху създаването на въздушни мехурчета при вертикални отвори с различен диаметър при вертикална посока на вибрациите и различен дебит на въздуха бяха проведени поредица от експериментални изследвания. Извършени са измервания на скоростта на изплуване на газовото мехурче при различна височина на водния стълб и различен диаметър на газовото мехурче в модел на колонна флотационна машина. Определени са стойностите на вибрационното поле по височина на водния стълб при монофазна и двуфазна система.

Таблица 1. Скорост на изплуване на газово мехурче с и без вибрации

F, [Hz]	A, mm	S = 120 cm; d = 4,0 mm			S = 90 cm; d = 4,0 mm		
		V, cm/s без вибрации	V, cm/s с вибрации	%	V, cm/s без вибрации	V, cm/s с вибрации	%
20	0,5	26,43	25,21	3,7	26,55	25,86	2,6
	1,00	25,92	25,26	3,5	26,87	25,71	3,1
	1,5	26,43	25,26	3,5	26,47	25,28	4,7
	2,00	26,2	25,00	4,5	26,39	24,66	7,1
	2,5	26,3	24,84	5,1	26,39	25,00	5,8
25	0,5	26,14	25,42	2,9	26,47	25,42	4,2
	1,00	26,09	25,1	4,1	26,63	25,42	4,2
	1,5	26,32	25,00	4,5	26,55	24,66	7,1
	2,00	26,26	24,74	5,5	26,47	25,14	5,3
	2,5	26,03	25,1	4,1	26,32	25,21	5,00
30	0,5	26,49	25,59	2,2	26,55	24,66	7,1
	1,00	26,2	24,84	5,1	26,63	24,19	8,9
	1,5	26,2	24,44	6,6	26,55	23,94	9,8
	2,00	25,97	23,81	9,00	26,55	23,56	11,20
	2,5	26,09	23,12	11,7	26,39	23,32	12,1
35	0,5	26,61	25,81	1,4	26,87	26,16	1,4
	1,00	26,32	25,26	3,5	26,71	26,01	2,00
	1,5	25,97	24,39	6,8	26,55	25,35	4,5
	2,00	26,03	24,59	6,00	26,55	25,00	5,80
	2,5	26,03	24,69	5,7	26,47	25,07	5,5
40	0,5	26,32	25,37	3,1	26,71	25,77	2,9
	1,00	26,26	24,9	4,9	26,39	25,07	5,5
	1,5	26,14	24,05	8,1	26,63	24,73	6,1
	2,00	26,2	24,29	7,2	26,47	24,32	8,4
	2,5	25,97	24,29	7,2	26,47	23,75	10,5
45	0,5	26,55	25,53	2,4	26,87	25,94	2,3
	1,00	26,14	24,54	6,2	26,63	24,39	8,1
	1,5	26,09	23,81	9,00	26,63	24,00	9,60
	2,00	25,92	23,72	9,4	26,32	23,20	12,6
	2,5	26,03	23,76	9,2	26,32	22,84	13,9

Определяне влиянието на вибрациите върху скоростта на изплуване на газови мехурчета

При диспергиране на газовата фаза вибрациите оказват влияние върху мехурчето в два момента : при образуването му, където при вибрационно въздействие се променя диаметъра на мехурчето и неговата форма и при изплуването му, когато се намалява скоростта на изплуване.

За определяне на влиянието на вибрациите върху скоростта на изплуване на газовото мехурче са проведени измервания на скоростта и в двата режима – с и без вибрации при различни по размер въздушни мехурчета и

различна височина на водния стълб.. Вибрационно въздействие върху газовото мехурче е приложено след откъсването му от дюзата. Проведените измервания са дадени в табл.1, където е изчислена и разликата в скоростите на изплуване с и без вибрации в проценти.

Скоростта на изплуване на газовото мехурче без вибрации е по-голяма от скоростта на изплуване на газовото мехурче с вибрации. Вибрациите спомагат за намаляване скоростта на изплуване на газовото мехурче т.е. удължават престоя му в колонната флотационна машина.

Таблица2. Амплитуда на вибрациите по височина на водния стълб (H=150 cm)

A1 - амплитуда, измерена от датчика върху вибратора

A2 - амплитуда, измерена от датчика във водата

h - височина на датчика във водата

№ на опита	Честота	Амплитуда на вибрациите по височина на водния стълб																				
		h=20cm		h=30cm		h=40cm		h=50cm		h=60cm		h=70cm		h=80cm		h=90cm		h=100cm		h=110cm		h=120
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1
Hz	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1.	25	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,4	0,50	0,3	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,6	0,50	0,6	0,50
		1,00	0,5	1,00	0,7	1,00	0,5	1,00	0,6	1,00	0,7	1,00	0,5	1,00	0,5	1,00	0,9	1,00	1,4	1,00	1,2	1,00
		1,50	0,6	1,50	1	1,50	0,6	1,50	0,8	1,50	1,00	1,50	0,8	1,50	0,8	1,50	1,3	1,50	2,5	1,50	2,00	1,50
		2,00	0,7	2,00	1,2	2,00	0,9	2,00	1,00	2,00	1,3	2,00	1,3	2,00	1,3	2,00	1,3	2,00	2,00	4,6	2,00	
2.	30	0,50	1,4	0,50	0,6	0,50	2,4	0,50	2,3	0,50	2,5	0,50	2,7	0,50	2,3	0,50	2,3	0,50	2,00	0,50	1,4	0,50
		1,00	1,5	1,00	1,2	1,00	3,2	1,00	3,7	1,00	3,4	1,00	4,00	1,00	2,9	1,00	3,4	1,00	1,8	1,00	2,6	1,00
		1,50	1,6	1,50	2,2	1,50	2,8	1,50	4,1	1,50	3,3	1,50	4,3	1,50	3,5	1,50	4,4	1,50	3,6	1,50	4,4	1,50
		2,00	1,7	2,00	2,4	2,00	2,4	2,00	2,8	2,00	2,4	2,00	4,2	2,00	4,6	2,00	4,8	2,00		2,00		2,00
3.	35	0,5	0,9	0,50	0,8	0,50	0,9	0,50	0,6	0,50	1,00	0,50	0,70	0,50	0,7	0,50	0,9	0,50	1,00	0,50	1,1	0,50
		1,00	1,5	1,00	1,5	1,00	1,6	1,00	1,4	1,00	1,8	1,00	1,40	1,00	1,4	1,00	1,7	1,00	1,9	1,00	2,1	1,00
		1,50	2	1,50	2	1,50	2,2	1,50	2,00	1,50	2,6	1,50	2,1	1,50	2,1	1,50	2,4	1,50	2,8	1,50	2,9	1,50
		2,00	2,5	2,00	2,6	2,00	2,6	2,00	2,5	2,00	3,4	2,00	2,80	2,00	2,8	2,00		2,00		2,00		2,00
4.	40	0,50	0,4	0,50	0,5	0,50	0,6	0,50	0,4	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,8	0,50	0,8	0,50
		1,00	0,9	1,00	1	1,00	1,2	1,00	0,9	1,00	1,00	1,00	0,9	1,00	0,8	1,00	1,1	1,00	1,6	1,00	1,7	1,00
		1,50	1,2	1,50	1,3	1,50	1,8	1,50	1,40	1,50	1,6	1,50	1,4	1,50	1,4	1,50	1,9	1,50	2,2	1,50	2,4	1,50
		2,00	1,6	2,00	1,7	2,00	2,4	2,00	2,2	2,00	2,2	2,00	1,9	2,00	2,00	2,00		2,00	2,9	2,00		2,00

Определяне разпределението на амплитудата на вибрациите по височина на водния стълб

Вибрирането на диспергатора в долната част на колонната флотационна машина предизвиква разпространение на колебанията във водния стълб и в зависимост от еластичността на тръбата и височината на водния стълб, а също така и от честотата и амплитудата на зададените вибрации стойността на амплитудата по височина е променлива величина.

За определяне на стойностите на амплитудата по височината на водния стълб са извършени изследвания на измервания с вибродатчик по височината на водния слой. За да се елиминира влиянието на разликата в плътностите на водата и вибродатчика той беше поставен във водоизолирана сфера от стиропор с диаметър, създаващ плътност на датчика равна на плътността на водата. По този начин се избягва разликата между действителната и измерена стойности на амплитудата от разликата във фазите на колебание.

Измерването се извърши при различна височина на водния стълб в колонната флотационна машина и в два режима: без въздушни мехурчета и със въздушни мехурчета. Част от резултатите, получени от тези измервания са дадени в табл. 2 и 3.

Резултатите от измерването на амплитудата на вибрациите по височината на водния стълб дават възможност да се направят изводи за разпространението на виброакустичното въздействие в обема на флотационната машина. Определено се потвърждава факта, че разпространението на вибрациите се влияе от геометричните размери на колоната и резонансните явления, свързани с диаметъра ѝ, дебелината на стените и разстоянието на измерването от вибрационния диспергатор – фиг. 2. При честота на колебанията на диспергатора 40 Hz и амплитуда 1,0 mm, вибрациите на течността се променят от 0,8 до 1,7 mm с ясно изразен

вълнообразен характер на промяната по височина, дължащо се на резонансните явления по височина.

Измерването на амплитудата на течността при наличието на диспергиран във вид на мехурчета въздух показва намаляване на амплитудата в границите от 0,2 до 0,5 mm също с определен вълнообразен характер, но със стойности неколккратно по-ниски от измерените без въздушни мехурчета и даже по-ниски от амплитудата на вибродиспергатора.

Това намаляване на амплитудата на колебание на течността при наличието на газова фаза обяснява намаляването на скоростта на изплуване на въздушните мехурчета. Дисипацията на енергия, която се реализира при съдържанието на газова фаза предизвиква колебания на въздушните мехурчета – получава се периодично, синхронно с честотата на подаваните вибрации, намаляване и увеличаване на техния диаметър.

Таблица 3. Амплитуда на вибрациите по височина на водния стълб при дебит на въздуха 200 l/h

h - височина на датчика във водата
A1 - амплитуда, измерена от датчика върху вибратора
A2 - амплитуда, измерена от датчика във водата

№	Честота	h=20 cm		h=30 cm		h=40 cm		h=50 cm		h=60 cm		h=70 cm		h=80 cm		h=90 cm		h=100 cm		h=110 cm	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
	Hz	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1.	20	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,4
		2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,5
		3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,3	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,5
2.	25	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4
		2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4
		3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,5	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,3	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4
3.	30	1,00	0,8	1,00	0,8	1,00	1,2	1,00	1,5	1,00	0,8	1,00	1,00	1,00	0,4	1,00	0,5	1,00	0,4	1,00	0,9
		2,00	1,9	2,00	1,8	2,00	2,1	2,00	1,9	2,00	1,6	2,00	1,7	2,00	1,2	2,00	0,8	2,00	0,6	2,00	1,5
		3,00	2,5	3,00	2,5	3,00	2,3	3,00	2,1	3,00	1,7	3,00	2,00	3,00	1,6	3,00	0,4	3,00	0,8	3,00	2,1

4.	35	1,00	0,7	1,00	0,7	1,00	0,4	1,00	0,6	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,4
		2,00	1,1	2,00	1,2	2,00	0,8	2,00	1,00	2,00	0,6	2,00	0,8	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4
		3,00	1,1	3,00	1,4	3,00	1,4	3,00	1,3	3,00	1,2	3,00	1,3	3,00	0,7	3,00	0,6	3,00	0,7	3,00	0,6
5.	40	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,2	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3
		2,00	0,4	2,00	0,6	2,00	0,6	2,00	0,7	2,00	0,6	2,00	0,5	2,00	0,3	2,00	0,6	2,00	0,5	2,00	0,6
		3,00	0,5	3,00	0,5	3,00	0,6	3,00	0,9	3,00	0,8	3,00	0,6	3,00	0,4	3,00	0,6	3,00	0,8	3,00	0,7
6.	45	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,5	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4
		2,00	0,7	2,00	0,6	2,00	0,6	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,5	2,00	0,7	2,00	0,8
		3,00	1,00	3,00	0,9	3,00	0,9	3,00	0,5	3,00	0,5	3,00	0,4	3,00	0,5	3,00	0,5	3,00	0,7	3,00	1,00
7.	50	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3
		2,00	0,5	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,2	2,00	0,4	2,00	0,4

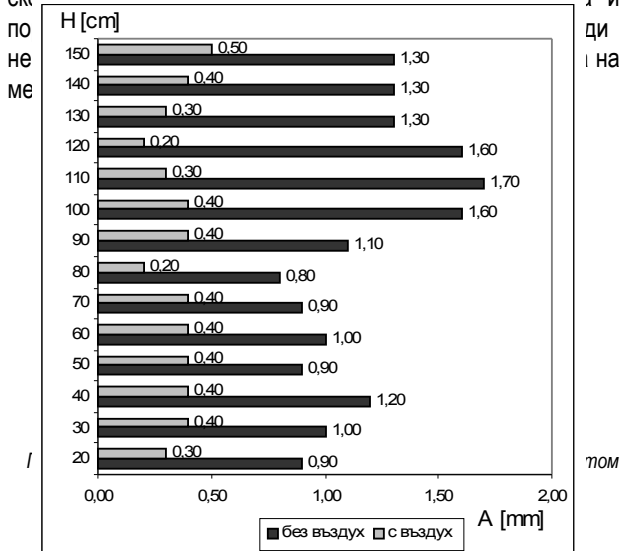
Измерването на амплитудата на течността при наличието на диспергиран във вид на мехурчета въздух показва намаляване на амплитудата в границите от 0,2 до 0,5 mm също с определен вълнообразен характер, но със стойности неколккратно по-ниски от измерените без въздушни мехурчета и даже по-ниски от амплитудата на вибродиспергатора.

Това намаляване на амплитудата на колебание на течността при наличието на газова фаза обяснява намаляването на скоростта на изплуване на въздушните мехурчета. Дисипацията на енергия, която се реализира при съдържанието на газова фаза предизвиква колебания на въздушните мехурчета – получава се периодично, синхронно с честотата на подаваните вибрации, намаляване и увеличаване на техния диаметър.

При изплуването на газовото мехурче към повърхността неговия диаметър непрекъснато се увеличава поради намаляване на налягането на водния слой. Известно е, че при изплуване на мехурчето, то запазва своята сферична форма само при много малки размери, при увеличаване на диаметъра формата на мехурчето се променя, осигуряваща движение при най-малко съпротивление.

Вибрирането на газовото мехурче не позволява на хидратния слой да приема тази намаляваща съпротивлението форма, поради което изплуването се осъществява с форма близка до сферичната, която при дадените условия създава по-голямо съпротивление. Това съпротивление се редуцира в намаляване на скоростта на изплуване на мехурчето.

Това намаляване на скоростта дава възможност за увеличаване на времето за пребиваване на мехурчето в зоната на контакт с минералните частици; вибрациите на хидратния слой дават възможност за увеличаване на възможността за осъществяване на елементарния акт на флотация чрез осигуряване на по-големи относителни



Фигура 2. Разпределение на амплитудата по височина с и без въздушни мехурчета.

ИЗВОДИ

Проведените виброакустични изследвания за въздействието на вибрациите върху процесите на създаване и изплуване на въздушните мехурчета и тяхното поведение в обема на флотационната машина дават възможност да се изяснят определени взаимодействия и да се даде отговор за действието на вибрациите върху газовата, течната и твърдата фаза в колонната вибрационна флотационна машина. Тези резултати ще бъдат използвани в последния етап на изследването – технологичните изпитания чрез провеждане на флотация на реални продукти и съчетаване на конструктивните и технологични изпитания за цялостно изясняване на процесите на виброакустични въздействие върху флотационния процес в колонна флотационна машина.

ЛИТЕРАТУРА

- Мещеряков, Н. Ф. Флотационные машины и аппараты, Москва, изд. Недра, 1982.
- Тихомиров, В. К. Пенны. Теория и практика их получения и разрушения. Москва, изд. Химия, 1983.
- Методиев, М. Ст. Виброакустични въздействия при дисперсни системи. Закономерности и приложение в минералните технологии. Авт.реф. дис. дтн, София, МГУ, 1998.

Препоръчана за публикуване от
катедра " ", МТФ

AIR BUBBLES CREATION AND BEHAVIOR IN A VIBRATORY-ACOUSTIC FIELD

Metodi Metodiev

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski"
Sofia 1700, Bulgaria
E-mail: metodiev@mgu.bg

Kremena Dedelyanova

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski"
Sofia 1700, Bulgaria
E-mail: dedelyanova@mgu.bg

ABSTRACT

The paper presents the mechanism of air bubbles creation in a vibratory column flotation machine at the aerator vibration in vertical direction and the influence of its constructive parameters on the gas phase dispersion. The vibratory field distribution along the water column according to the applied to the aerator oscillations in water medium and air bubbles presence is researched. A hypothesis explaining the deceleration of the gas bubbles emerging velocity in a vibratory field with a vibrations energy absorption of the bubbles at their vibration as a result of the changeable sound wave pressure and the change in the interaction between the bubbles and the liquid is expressed.

INTRODUCTION

The air bubbles creation in liquids is a wide used method for different technological processes realization and it is a basic process at the mineral products processing floatation.

Regardless the aeration process application its efficiency is determined by the shared surface at the bound gas-liquid, for which formation a definite energy has to be used up. Besides, conditions for the obtained bubbles size, which determines their ability to transport a definite number of solid particles to the froth layer are laid down by the process application at floatation processing.

Mechanical, pneumatic, hydraulic and other combined methods for the gas phase dispersion by different energy types are used for the process realization. Because of the continuous contact time of the dispersed gas phase and solid particles it turns out that there are mechanically transported particles in the froth layer so an additional water sprinkling of the froth layer is used for the concentrate quality improvement.

In the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – department "Mineral technologies" a disperser at which the gas phase is realized by the use of vertical vibrations with defined frequency and amplitude has been developed. The dispersion method created as a result of the long work in the department on the use of the vibratory-acoustic technologies for the technological processes intensification gives the opportunity to affect not only the bubble formation process but the three phases in the entire work chamber volume as well.

GAS PHASE DISPERSION

The gas phase dispersion in liquid medium is realized by its transmission through an annular slot in the upper disperser part fig. 1. The air quantity (fig.1 - 1) depends on the pressure difference in the supplied air and the water column in the floatation machine

When the disperser does not vibrate the air is dispersed in big bubbles, which are obtained at random places on the annular slot (fig. 1 - 2) due to its inability to limit bubbles of a certain size because of the slot type. At the disperser vibration the bubble formation process character considerably changes – when the vibrations frequency and amplitude increase there is a decrease in the obtained

bubbles size and an increase in their number. By the experiments and surveillances it has been ascertained that the bubbles number and respectively – their size depend on

the vibrations velocity $u = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi)$,

which could be identified with the expression $u_v = Af$ – a product of the amplitude and frequency oscillations.

At the disperser vibration the growing bubble from a random annular slot sector is affected by two forces: the lifting force of the liquid removed by the bubble and the resistance force caused by the liquid flow circumfluent the bubble and moving on the inclined disperser face. The former has always had up direction, while the latter is alternating – depending on the oscillations phase it could be directed as the lifting force is or in the opposite direction. There is an increase in the lifting force with the bubble diameter growth. There is also an increase in the resistance force but it changes in accordance with a sinusoidal law.

The bubbles formation itself is not definite in coordinates because it is not formed by nozzles but by an annular slot as a result of the determining factors accidental alterations. The above mentioned predetermines the complex character of bubbles formation at a vibratory effect at a certain disperser construction.

Figure 1. The vibratory air-dispersing unit

The determination of the forces, which affect a bubble formation at applied vibratory effect, is based on the fact that at a bubble formation by a nozzle it detaches when the lifting force becomes bigger than the surface tension force:

$$F_{\text{OTK}} = \frac{1}{6} \rho p d^3 \quad (1)$$

Where: F_{OTK} – the force detaching the bubble from the nozzle;

d – the bubble diameter;
 ρ – liquid density.

The circumfluence R_{ob} resistance force is determined by the formula:

$$F_{\text{о6т}} = cS \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

c – resistance coefficient;

S – the bubble cross-section in a plane perpendicular to the liquid movement direction;

V – liquid velocity.

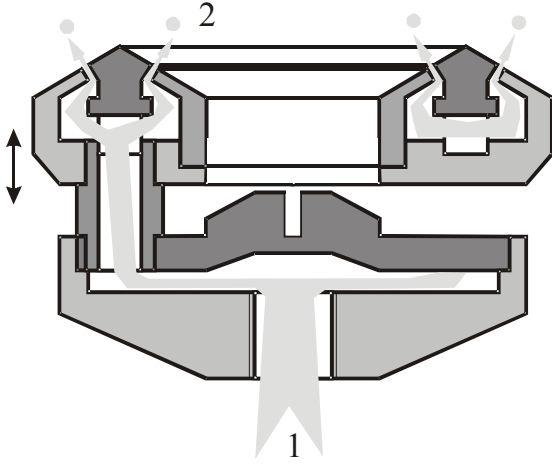
The liquid velocity changes according to a sinusoidal law. If the slot plane is parallel to the vibrations direction the circumfluence velocity is equal to the vibratory velocity:

$$V_{\text{о6т}} = A\omega \cos \omega t \quad (3)$$

At the other bound case – the slot plane is perpendicular to the vibrations direction – the circumfluence velocity is equal to zero (in the ideal case). In the general case – when the slot plane and the vibrations direction form a certain angle β the velocity of the bubble circumfluence by the liquid is:

$$V_{\text{о6т}} = 2\pi Af \cos \omega t \sin \beta \quad (4)$$

The resistance force at circumfluence is:



$$F_{\text{отр}} = \frac{1}{2} c_p \pi^3 d^2 A^2 f^2 \cos^2 \omega t \sin^2 \beta \quad (5)$$

As it was mentioned, the force $F_{\text{отр}}$ needed for the bubble

to be detached from the nozzle refers to a bubble formation in calm liquid and a determined nozzle size. In this way the force needed for the surface tension surmounting is determined. It is preliminarily accepted that the application of the same force to a bubble forming at the same nozzle the diameter d_1 of the obtained bubble will be different, i. e. by $F_{\text{отр}} = F_{\text{отр}}$

$$kd^3 = kd_1^2 A^2 f^2 \cos^2 \omega t \quad (6)$$

and the diameter d_1 of the newly obtained bubble will be:

$$d_1 = \frac{d\sqrt{2}}{A^2 f^2 \cos^2 \omega t} \quad (7)$$

b

The value of the expression $A^2 f^2 \cos^2 \omega t$ is in the limit:

$$A^2 f^2 > A^2 f^2 \cos^2 \omega t > 0 \quad (8)$$

At the disperser oscillations upper and the lower points, when the movement direction changes the vibratory velocity

$u_{\text{виг}}=0$.and the forming bubbles have the opportunity to grow to a bigger diameter. From this point the vibratory velocity increases and reaches the maximal value at a distance equal to the vibrations amplitude A . After that it again decreases to zero. The obtained bubbles diameters alter according to this harmonic law.

With the disperser vibration the resistance that the air flow experiences increases because of the faces circumfluence by the water layer. As a result of the increased resistance for the air at the annular slot outlet begins bubble formation on its entire perimeter. The air pressure pulsations are synchronous with the oscillations – the pressure decrease at the upper and lower points of the disperser movement (at increase of the slot flow capacity due to resistance decrease) and increase at acceleration.

According to the above worked out dependences the vibrations use gives the opportunity for gas bubbles diameters regulation in accordance with the vibratory effect, which allows the flotation process optimization by the gas phase dispersion improvement. This positively influences the air dispersion in a column flotation machine, where the water column height definitely stipulates conditions about the initial gas bubbles diameter.

EXPERIMENTAL RESEARCHES

Series of experimental researches are carried out in order the vibratory-acoustic influence on the air bubbles formation at vertical holes with different diameters at a vertical vibrations direction and different air flow to be determined. Measurements of the gas bubble emerging at different water column height and gas bubble diameter in a model of a column flotation machine are carried out. The vibratory field values are determined according the water column height for monophasе and diphasе systems.

Table1 A gas bubble emerge velocity with and without vibrations

F, [Hz]	A, mm	V, cm/s	V, cm/s	%	V, cm/s	V, cm/s	%
		without vibrations	with vibrations		without vibrations	with vibrations	
		S = 120 cm; d = 4,0 mm			S = 90 cm; d = 4,0 mm		
20	0,5	26,43	25,21	3,7	26,55	25,86	2,6
	1,00	25,92	25,26	3,5	26,87	25,71	3,1
	1,5	26,43	25,26	3,5	26,47	25,28	4,7
	2,00	26,2	25,00	4,5	26,39	24,66	7,1
	2,5	26,3	24,84	5,1	26,39	25,00	5,8
25	0,5	26,14	25,42	2,9	26,47	25,42	4,2
	1,00	26,09	25,1	4,1	26,63	25,42	4,2
	1,5	26,32	25,00	4,5	26,55	24,66	7,1
	2,00	26,26	24,74	5,5	26,47	25,14	5,3
	2,5	26,03	25,1	4,1	26,32	25,21	5,00
30	0,5	26,49	25,59	2,2	26,55	24,66	7,1
	1,00	26,2	24,84	5,1	26,63	24,19	8,9
	1,5	26,2	24,44	6,6	26,55	23,94	9,8

	2,00	25,97	23,81	9,00	26,55	23,56	11,20
	2,5	26,09	23,12	11,7	26,39	23,32	12,1
35	0,5	26,61	25,81	1,4	26,87	26,16	1,4
	1,00	26,32	25,26	3,5	26,71	26,01	2,00
	1,5	25,97	24,39	6,8	26,55	25,35	4,5
	2,00	26,03	24,59	6,00	26,55	25,00	5,80
	2,5	26,03	24,69	5,7	26,47	25,07	5,5
40	0,5	26,32	25,37	3,1	26,71	25,77	2,9
	1,00	26,26	24,9	4,9	26,39	25,07	5,5
	1,5	26,14	24,05	8,1	26,63	24,73	6,1
	2,00	26,2	24,29	7,2	26,47	24,32	8,4
	2,5	25,97	24,29	7,2	26,47	23,75	10,5
45	0,5	26,55	25,53	2,4	26,87	25,94	2,3
	1,00	26,14	24,54	6,2	26,63	24,39	8,1
	1,5	26,09	23,81	9,00	26,63	24,00	9,60
	2,00	25,92	23,72	9,4	26,32	23,20	12,6
	2,5	26,03	23,76	9,2	26,32	22,84	13,9

DETERMINATION OF THE VIBRATIONS EFFECT ON THE GAS BUBBLES EMERGING VELOCITY

At the gas phase dispersion the bubble is affected by the vibrations at two moments: at the formation, when the bubble shape and diameter is altered by the vibrations effect; at the emerging, when the emerging velocity is decreased.

Measurements in two regimes – with and without vibrations at air bubbles different size and different water column height have been carried out to determinate the vibrations effect on the gas bubble emerging velocity. The module for singular bubbles creation provides the opportunity for micrometric air supply through changeable nozzles with a certain hole diameter in order gas bubbles with determined initial diameter to be obtained. The vibratory effect on the gas bubble is applied after its detaching from the nozzle. The measurements results are presented in the table 1, where the emerging

velocity difference with and without vibrations is percent computed.

The gas bubble emerging velocity without vibrations is higher than that with vibrations. Vibrations contribute to the gas bubble emerging velocity decrease, i. e. extend its stay in the column flotation machine.

DETERMINATION OF THE VIBRATIONS AMPLITUDE ACCORDING TO THE WATER COLUMN HEIGHT

The dispersed vibration at the column flotation machine lower part causes oscillations distribution in the water column depending on the pipe elasticity and the water column height as well as on the determined vibrations frequency and amplitude. The amplitude value according the height is a variable quantity.

Table 2. The vibrations amplitude along the water column height (H=150cm)

A1 -
amp
litud
e
mea
sure
d by
the
sen
sor
on
the
vibr
ator
A2 amplit
- ude
h - measu
the red by
sen the
sor sensor
heig in the
ht in water
the
wat

er

№	Frequency	The vibrations amplitude along the water column height																					
		h=20 cm		h=30 cm		h=40 cm		h=50 cm		h=60 cm		h=70 cm		h=80 cm		h=90 cm		h=100 cm		h=110 cm		h=120 cm	
	Hz	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
1.	25	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,4	0,50	0,3	0,50	0,3	0,50	0,4	0,50	0,6	0,50	0,6	0,50	0,7
		1,00	0,5	1,00	0,7	1,00	0,5	1,00	0,6	1,00	0,7	1,00	0,5	1,00	0,5	1,00	0,9	1,00	1,4	1,00	1,2	1,00	1,5
		1,50	0,6	1,50	1	1,50	0,6	1,50	0,8	1,50	1,00	1,50	0,8	1,50	0,8	1,50	1,3	1,50	2,5	1,50	2,00	1,50	2,4
		2,00	0,7	2,00	1,2	2,00	0,9	2,00	1,00	2,00	1,3	2,00	1,3	2,00	1,3	2,00	2,00	2,00	4,6	2,00		2,00	3,8
2.	30	0,50	1,4	0,50	0,6	0,50	2,4	0,50	2,3	0,50	2,5	0,50	2,7	0,50	2,3	0,50	2,3	0,50	2,00	0,50	1,4	0,50	1,5
		1,00	1,5	1,00	1,2	1,00	3,2	1,00	3,7	1,00	3,4	1,00	4,00	1,00	2,9	1,00	3,4	1,00	1,8	1,00	2,6	1,00	2,6
		1,50	1,6	1,50	2,2	1,50	2,8	1,50	4,1	1,50	3,3	1,50	4,3	1,50	3,5	1,50	4,4	1,50	3,6	1,50	4,4	1,50	4,2
		2,00	1,7	2,00	2,4	2,00	2,4	2,00	2,8	2,00	2,4	2,00	4,2	2,00	4,6	2,00	4,8	2,00		2,00		2,00	
3.	35	0,5	0,9	0,50	0,8	0,50	0,9	0,50	0,6	0,50	1,00	0,50	0,70	0,50	0,7	0,50	0,9	0,50	1,00	0,50	1,1	0,50	1,1
		1,00	1,5	1,00	1,5	1,00	1,6	1,00	1,4	1,00	1,8	1,00	1,40	1,00	1,4	1,00	1,7	1,00	1,9	1,00	2,1	1,00	2,00
		1,50	2	1,50	2	1,50	2,2	1,50	2,00	1,50	2,6	1,50	2,1	1,50	2,1	1,50	2,4	1,50	2,8	1,50	2,9	1,50	2,8
		2,00	2,5	2,00	2,6	2,00	2,6	2,00	2,5	2,00	3,4	2,00	2,80	2,00	2,8	2,00		2,00		2,00		2,00	
4.	40	0,50	0,4	0,50	0,5	0,50	0,6	0,50	0,4	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,5	0,50	0,8	0,50	0,8	0,50	0,8
		1,00	0,9	1,00	1	1,00	1,2	1,00	0,9	1,00	1,00	1,00	0,9	1,00	0,8	1,00	1,1	1,00	1,6	1,00	1,7	1,00	1,6
		1,50	1,2	1,50	1,3	1,50	1,8	1,50	1,40	1,50	1,6	1,50	1,4	1,50	1,4	1,50	1,9	1,50	2,2	1,50	2,4	1,50	2,2
		2,00	1,6	2,00	1,7	2,00	2,4	2,00	2,2	2,00	2,2	2,00	1,9	2,00	2,00	2,00		2,00	2,9	2,00		2,00	

Measurements researches with a vibratory sensor have been done along the water layer for the amplitude values according the water column determination. In order the influence of the water densities difference and the vibratory sensor the latter was put into a water-isolated Styrofoam sphere with a diameter making the sensor density equal to that of the water. In this way the difference between the real and the measured values of the amplitude of the phases oscillations difference is avoided.

The measurement has been carried out at different water column height in the column flotation machine and in two regimes: without air bubbles (table 2) and with air bubbles (table 3). A part of the obtained results are presented in tables 2 and 3.

The results from the measurement of the vibrations amplitude along the water column height provide the opportunity conclusions about the vibratory-acoustic influence distribution in the flotation machine volume to be made. The fact that the vibrations distribution is influenced by the column geometric dimensions and the resonance phenomena connected with its diameter, the faces thickness and the measurement distance from the vibratory disperser (fig. 2) is

definitely corroborated. At the disperser oscillation frequency 40Hz and amplitude 1,0 mm, the liquid vibrations alter from 0,8 to 1,7 mm with a clearly expressed corrugated character of the change along the height due to the resonance phenomena along the height.

The liquid amplitude measurement in presence of dispersed in the form of bubbles air shows the amplitude decrease in the bounds from 0,2 to 0,5 mm, which is also with a determined corrugated character, but its values are several times lower than those measured without air bubbles and even lower than the vibratory disperser amplitude.

This decrease of the liquid oscillations amplitude in a gas phase presence explains the air bubbles emerging velocity decrease. The energy dissipation, which is realized at a gas phase presence, causes gas bubbles fluctuation –decrease and increase in their diameter is obtained periodically, synchronous with the supplied vibrations frequency.

Due to the water layer pressure decrease the emerging gas bubble diameter continuously increases. As it is well known that the emerging bubble saves its spherical shape only at very small sizes. At the diameter increase the bubble shape changes providing the smallest moving resistance.

Table 3. The vibrations amplitude along the water column height at an air flow 200 l/h

h -
the
sens
or
heig
ht in

the water r
A1 - amplitude measured by the sensor on the vibrator
A2 - amplitude measured by the sensor in the water r

№	Frequency	The vibrations amplitudes along the water column height																			
		h=20 cm		h=30 cm		h=40 cm		h=50 cm		h=60 cm		h=70 cm		h=80 cm		h=90 cm		h=100 cm		h=110 cm	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
	Hz	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1.	20	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,4
		2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,5
		3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,3	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,5
2.	25	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4
		2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4
		3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,5	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,4	3,00	0,3	3,00	0,4	3,00	0,4
3.	30	1,00	0,8	1,00	0,8	1,00	1,2	1,00	1,5	1,00	0,8	1,00	1,00	1,00	0,4	1,00	0,5	1,00	0,4	1,00	0,9
		2,00	1,9	2,00	1,8	2,00	2,1	2,00	1,9	2,00	1,6	2,00	1,7	2,00	1,2	2,00	0,8	2,00	0,6	2,00	1,5
		3,00	2,5	3,00	2,5	3,00	2,3	3,00	2,1	3,00	1,7	3,00	2,00	3,00	1,6	3,00	0,4	3,00	0,8	3,00	2,1
4.	35	1,00	0,7	1,00	0,7	1,00	0,4	1,00	0,6	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00	0,4
		2,00	1,1	2,00	1,2	2,00	0,8	2,00	1,00	2,00	0,6	2,00	0,8	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4
		3,00	1,1	3,00	1,4	3,00	1,4	3,00	1,3	3,00	1,2	3,00	1,3	3,00	0,7	3,00	0,6	3,00	0,7	3,00	0,6
5.	40	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,2	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,3
		2,00	0,4	2,00	0,6	2,00	0,6	2,00	0,7	2,00	0,6	2,00	0,5	2,00	0,3	2,00	0,6	2,00	0,5	2,00	0,6
		3,00	0,5	3,00	0,5	3,00	0,6	3,00	0,9	3,00	0,8	3,00	0,6	3,00	0,4	3,00	0,6	3,00	0,8	3,00	0,7
6.	150	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4	1,00	0,4
		2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,4	2,00	0,5	2,00	0,7	2,00	0,8	2,00	0,8	2,00	0,7	2,00	0,8	2,00	0,8
		3,00	0,5	3,00	0,4	3,00	0,5	3,00	0,5	3,00	0,7	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	0,7	3,00	1,00	3,00	1,00
7.	120	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00	0,3
		2,00	0,4	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,3	2,00	0,2	2,00	0,4	2,00	0,4	2,00	0,4

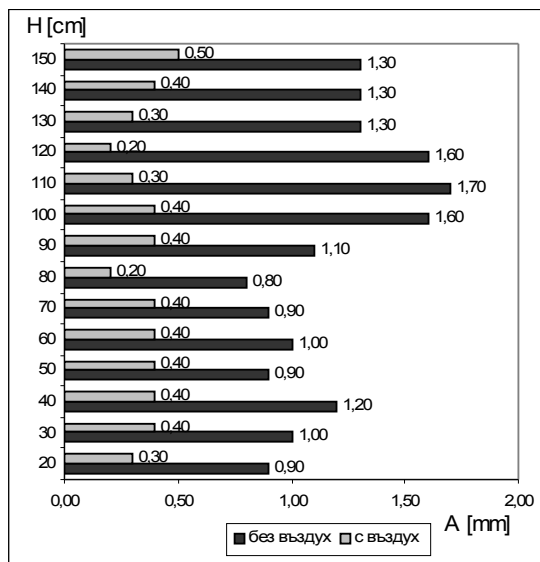


Figure 2. The vibrations amplitude along the water column height with and without gas bubbles

Because of the gas bubble vibration the hydrate layer is not allowed to accept that resistance decreasing shape so the emerging is realized with a shape close to the spherical, which

under the defined circumstances creates higher resistance. That resistance is expressed in the bubble emerging velocity decrease.

The velocity decrease gives the opportunity for the bubble stay in the mineral particles contact zone time protraction. The hydrate layer vibrations give the opportunity for the elementary flotation act realization by providing higher relative velocities at a meeting of the bubble and the solid phase and because of the layer thickness as a result of the continuous increase and decrease of the bubble diameter.

CONCLUSION

The carried out vibratory-acoustic researches in the vibrations influence on the air bubbles creation, emerging and behavior in the flotation machine volume provide the opportunity definite interactions to be clarified as well as the question about the vibrations operation on the gas, liquid and solid phase in the column vibratory flotation machine. The results will be used in the final research stage – the technological tests by real products flotation and constructive and technological tests combination on order the vibratory-acoustic processes influence on the flotation process in a column flotation machine to be entirely clarified.

REFERENCES

Мещеряков, Н. Ф. Флотационные машины и аппараты, Москва, изд. Недра, 1982.

Тихомиров, В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. Москва, изд. Химия, 1983.

Методиев, М. Ст. Виброакустични въздействия при дисперсни системи. Закономерности и приложение в минералните технологии. Авт.реф. дис. дтн, София, МГУ, 1998.

, Faculty of Mining Technology

Recommended for publication by Department