

УДК 622.765

ВЛИЯНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПУЗЫРЬКАХ НА ИХ ПРИЛИПАНИЕ К ЧАСТИЦАМ ПРИ ПЕННОЙ ФЛОТАЦИИ

Часть вторая¹

© 2013 г. В.И. Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова, Т.И. Юшина

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск

Московский государственный горный университет (МГГУ)

Расчет энергетической возможности перехода сферического пузырька A в прилипший пузырек M , или перехода $A \rightarrow M$ (ПАМ), показал, сколь велико влияние величины капиллярного давления (P_K) на результаты расчета, а также то, что с уменьшением пузырьков A и M и ростом P_K в них диапазон возможного изменения P_{KM} в пузырьке M резко сужается, влияние P_{KM} на энергетический барьер на пути прилипания пузырька к гидрофильной поверхности падает практически до нуля, но предпочтение в прилипании пузырьков к гидрофобной поверхности сохраняется, хотя разница заметно снижается по сравнению с крупными пузырьками. Подтверждающей экспериментальной базой результатов этого прецизионного расчета являются данные практики первых процессов пенной флотации микропузырьками. Процессу прилипания на практике, по-видимому, также способствуют уменьшение краевого угла θ_M до $0,02^\circ$ и начинающийся рост коэффициента растекания прилипшего пузырька по подложке-частице.

Ключевые слова: капиллярное давление, энергетическая возможность прилипания, механизм прилипания, гидрофобная поверхность, гидрофильная поверхность, коэффициент растекания прилипшего пузырька, пенная флотация, ПАМ.

Calculation of the energy possibility of A spherical bubble transition into M captive bubble, i.e. $A \rightarrow M$ transition, has shown the great effect of capillary pressure (P_c) on the calculation results as well as that in reducing A and M bubbles and growing P_c in them, the range of possible P_{CM} change in M bubble is sharply confined and the effect of P_{CM} on the energy barrier along the path of the bubble adhesion to the hydrophilic surface drops practically to zero but the preference in bubble adhesion to the hydrophobic surface is kept constant, although the difference considerably drops compared with large bubbles. The practical data of the first processes of the foam flotation with microbubbles are the confirming experimental base of the results of this high-precision calculation. It is apparently, the adhesion process in practice is also promoted by θ_M wetting angle reduction down to $0,02^\circ$ and the beginning growth of spreading coefficient of the adhered bubble over the substrate-particle.

Key words: capillary pressure, energy possibility for adhesion, adhesion mechanism, hydrophobic surface, hydrophilic surface, spreading coefficient of adhered bubble, foam floatation, $A \rightarrow M$ transition.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА $A \rightarrow M$ ПУЗЫРЬКАМИ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

Расчеты проводились в широком диапазоне размеров пузырьков с целью получения ответов на следующие вопросы:

1) влияет ли капиллярное давление газа в прилипшем пузырьке M (P_{KM}) на прилипание к подложке свободного пузырька A ?

2) как следует вычислять величину P_{KM} в пузырьке M ?

3) влияет ли размер пузырька на его прилипаемость к подложке?

4) какие параметры пузырька способствуют его прилипанию?

В расчетах перехода $A \rightarrow M$ экваториальный диаметр (d_e) пузырьков M составлял 2 и 1 мм; 200, 100, 20, 2, 1 мкм и 600 нм. Некоторые различия в алгоритмах расчета для относительно крупных и мелких пузырьков описаны в пп. 3 и 4 первой части статьи [1] на примере пузырьков с $d_e = 2$ мм и 20 мкм, а по-

¹ Часть первую см. в [1].

Мелик-Гайказян В.И. – докт. хим. наук, проф., рук-ль лаборатории поверхностных явлений и флотации ЮЗГУ (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94). Тел.: (4712) 58-69-35, 58-70-99. E-mail: vi.mg@yandex.ru.

Емельянова Н.П. – канд. хим. наук, доцент, сотрудник той же лаборатории.

Юшина Т.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых МГГУ (119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 6). Тел.: (499) 230-24-46. E-mail: ksenia12390@mail.ru.

Таблица 4

Результаты расчета энергетической возможности перехода $A \rightarrow M$ для пузырька диаметром $d_e = 1$ мкм и формой $\beta = -3,5 \cdot 10^{-8}$, а также выбора методики расчета P_{KM}

№ п/п	Пузырек	$-\beta$	$V_M, V_A,$ 10^{-19} м^3	$d_e, d_A,$ 10^{-7} м	$\Pi_M, \Pi_A,$ 10^{-12} м^2	$\Pi_M + \Pi_{aM},$ 10^{-12} м^2	$\Pi_{aM},$ 10^{-20} м^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	M1	$3,5 \cdot 10^{-8}$	5,23598687763	10,0000000584	3,1415920672	3,14159209646	2,926029860
4	A	0	5,23598636313	9,99999911328	3,14159209645	—	—
5	$K_M = V_M/V_A = 1,00000009826$						
№ п/п	Пузырек	$\theta_M,$ град	$\sigma,$ Н/м	$P_{KM}, P_{KA},$ Н/м ²	$P_{KM}V_M, P_{KA}V_A,$ 10^{-13} Дж	$\sigma\Pi_M, \sigma\Pi_A,$ 10^{-13} Дж	$\sigma(\Pi_M + \Pi_{aM}),$ 10^{-13} Дж
1	2	9	10	11	12	13	14
1	M1	0,02	0,070	280000,00000	1,4660763257	2,1991144470	2,1991144675
2	M2	0,02	0,070	279999,99836	1,4660763172	2,1991144470	2,1991144675
3	M3	0,02	0,070	279999,99511	1,4660763001	2,1991144470	2,1991144675
4	A	0	0,070	280000,02483	1,4660763117	2,1991144675	—
№ п/п	Пузырек	$G_{M\Gamma}, G_A,$ 10^{-13} Дж	$G_{M\Phi},$ 10^{-13} Дж	$\Delta G_\Gamma = G_{M\Gamma} - G_A,$ 10^{-22} Дж	$\Delta G_\Phi = G_{M\Phi} - G_A,$ 10^{-22} Дж	$\Delta G_\Gamma/V,$ Дж/м ³	$\Delta G_\Phi/V,$ Дж/м ³
1	2	15	16	17	18	19	20
1	M1	3,6651907728	3,6651907933	-6,4	14,1	—	—
2	M2	3,6651907642	3,6651907847	-15,0	5,5	-0,0029	0,0011
3	M3	3,6651907471	3,6651907676	-32,1	-11,6	—	—
4	A	3,6651907792	—	—	—	—	—
Примечание. Радиус кривизны в куполе пузырька $b = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.							

лученные результаты приведены в табл. 2 и 3 соответственно [1]. В табл. 4 и 5 представлены результаты расчетов, выполненных для пузырьков с $d_e = 1$ мкм и 600 нм. Из-за ограниченности объема статьи результаты расчетов для $d_e = 1$ мм, 200, 100 и 2 мкм не приведены, но отражены в сводных табл. 6 и 7.

Табл. 6 составлена для иллюстрации роли капиллярного давления P_{KM} при переходе $A \rightarrow M$ и для подтверждения правильности выбора способа расчета величины P_{KM} в пузырьке M . Рассмотрение данных табл. 6 рационально начать с графы 3, строк 6–8. Они показывают, что при $P_{KM2} = 136,550 \text{ Н/м}^2$ пузырек диаметром 2 мм энергетически может легко прилипнуть (знак минуса в стр. 7) к гидрофобной подложке, но, согласно стр. 2 и 9, при росте P_{KM2} до $P_{KM1} = 140,00 \text{ Н/м}^2$ этот же пузырек энергетически уже не может (знак плюса в стр. 9) прилипнуть к данной подложке, а из строк 3 и 10 следует, что при снижении P_{KM2} до $P_{KM3} = 129,601 \text{ Н/м}^2$ он может прилипнуть даже к предельно гидрофильной поверхности.

Таким образом, при диапазоне изменения значений капиллярного давления от P_{KM1} до P_{KM3} в $10,399 \text{ Н/м}^2$, или всего на 7,43 %, влияние P_{KM} на возможность прилипания или неприлипания пузырьков прослеживается довольно четко.

При переходе к пузырьку с $d_e = 1$ мм (гр. 4) диапазон изменения P_{KM} сужается от 7,43 до 1,78 % (стр. 5), а влияние P_{KM} на энергетическую возможность прилипания сохраняется. Тенденция сужения указанного диапазона с уменьшением диаметра пузырька, согласно данным табл. 6, прослеживается до пузырьков микрометровых и меньших размеров. Любопытно, что величина P_{KM2} не выходит из этого сужающегося диапазона, что, по-видимому, свидетельствует о правильности выбора способа расчета величины P_{KM2} (см. п. 1.4 первой части статьи). Следует напомнить, что значения P_{KM1} и P_{KM3} в пузырьке M могут вообще и не быть. Это просто допущения, которые рассматривались в п. 1.5. Очевидно, что значения P_{KM1} и P_{KM3} , а также ΔG_Γ и ΔG_Φ , полученные с ними, в дальнейшем рассматривать не следует. Они свою

Таблица 5

Результаты расчета энергетической возможности перехода $A \rightarrow M$ для пузырька диаметром $d_e = 600$ нм и формой $\beta = -1,26 \cdot 10^{-8}$, а также выбора методики расчета P_{KM}

№ п/п	Пузырек	$-\beta$	$V_M, V_A,$ 10^{-19} м^3	$d_e, d_A,$ 10^{-7} м	$\Pi_M, \Pi_A,$ 10^{-12} м^2	$\Pi_M + \Pi_{aM},$ 10^{-12} м^2	$\Pi_{aM},$ 10^{-21} м^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	M1	$1,26 \cdot 10^{-8}$	1,13097314023	6,00000001256	1,13097313539	1,13097313784	2,4444654284
4	A	0	1,13097302909	5,99999942316	1,13097313783	—	—
5	$K_M = V_M/V_A = 1,00000009827$						
№ п/п	Пузырек	$\theta_M,$ град	$\sigma,$ Н/м	$P_{KM}, P_{KA},$ Н/м ²	$P_{KM}V_M, P_{KA}V_A,$ 10^{-14} Дж	$\sigma\Pi_M, \sigma\Pi_A,$ 10^{-14} Дж	$\sigma(\Pi_M + \Pi_{aM}),$ 10^{-14} Дж
1	2	9	10	11	12	13	14
1	M1	0,020	0,070	466666,66667	5,2778746544	7,9168119477	7,9168119649
2	M2	0,020	0,070	466666,66569	5,2778746434	7,9168119477	7,9168119649
3	M3	0,020	0,070	466666,66364	5,2778746202	7,9168119477	7,9168119649
4	A	0	0,070	466666,71153	5,2778746432	7,9168119648	—
№ п/п	Пузырек	$G_{M\Gamma}, G_A,$ 10^{-13} Дж	$G_{M\Phi},$ 10^{-13} Дж	$\Delta G_\Gamma = G_{M\Gamma} - G_A,$ 10^{-23} Дж	$\Delta G_\Phi = G_{M\Phi} - G_A,$ 10^{-24} Дж	$\Delta G_\Gamma/V,$ Дж/м ³	$\Delta G_\Phi/V,$ Дж/м ³
1	2	15	16	17	18	19	20
1	M1	1,3194686602	1,3194686619	-5,82	113,00	—	—
2	M2	1,3194686591	1,3194686608	-17,00	2,42	-0,0015	0,00002
3	M3	1,3194686568	1,3194686585	-40,00	-229,00	—	—
4	A	1,3194686608	—	—	—	—	—

Примечание. Радиус кривизны в куполе пузырька $b = 3 \cdot 10^{-7}$ м.

роль выполнили, указав, как нужно вычислять величину P_{KM} (т.е. величину P_{KM2}), которая, вероятно, на самом деле действует в пузырьке M .

В связи с изложенным предварительный вывод о том, что найден способ расчета величины капиллярного давления в пузырьке M , сделанный в первой части статьи, стал более обоснованным.

Табл. 7 составлена следующим образом. В гр. 2 приведены диаметры (d_e) всех пузырьков, использованных в расчетах перехода $A \rightarrow M$, а в гр. 3 — разности (Δd_e) из их смежных значений (например, из значения d_e в стр. 7 вычитается значение d_e в стр. 8: $\Delta d_e = 1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-7} = 4 \cdot 10^{-7}$ м; результат помещается в гр. 3 между стр. 7 и 8).

В гр. 4 показаны удельные значения $-\Delta G_\Gamma/V$, вычисленные для перехода $A \rightarrow M$ на гидрофобной поверхности. Они взяты из гр. 19 табл. 2—5 и отражают величину убыли энергии, заключенной в пузырьке M при самопроизвольном прилипанию пузырька A к гидрофобной поверхности. Очевидно, что этот па-

раметр выражает прилипаемость пузырька данного размера к рассматриваемой поверхности.

В гр. 5 приводятся величины разности между смежными значениями прилипаемости. Поясним это числовым примером на основе данных стр. 7 и 8, т.е. $(-0,0029) - (-0,0015) = -0,0014$ Дж/м³.

Поделив полученное изменение прилипаемости на величину соответствующего Δd_e из гр. 3, получим изменение прилипаемости пузырьков с уменьшением их диаметра, обозначенное как $\Delta(\Gamma)$ и занесенное в гр. 6:

$$\Delta(\Gamma) = \frac{(\Delta G_\Gamma/V)'' - (\Delta G_\Gamma/V)'}{\Delta d_e} = \frac{-0,0014}{4 \cdot 10^{-7}} = -3500 \text{ Дж/м}^4. \quad (1)$$

Необходимо отметить различие в характере изменения данных в гр. 4 и 6: в гр. 4 величина чисел сверху вниз плавно убывает, а в гр. 6 числа, полученные на их основе, поначалу несколько колеблются,

Таблица 6
Данные, иллюстрирующие влияние капиллярного давления газа (P_{KM}) в пузырьках различного размера на переход $A \rightarrow M$

№ п/п	Параметры	$d_e = 2$ мм	1 мм	200 мкм	100 мкм	20 мкм	2 мкм	1 мкм	600 нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	β	$-1,4 \cdot 10^{-1}$	$-3,5 \cdot 10^{-2}$	$-1,4 \cdot 10^{-3}$	$-3,5 \cdot 10^{-4}$	$-1,4 \cdot 10^{-5}$	$-1,4 \cdot 10^{-7}$	$-3,5 \cdot 10^{-8}$	$-1,26 \cdot 10^{-8}$
2	P_{KM1} , Н/м ²	140,000	280,0000	1400,0000	2800,0000	14000,000	140000,00	280000,0000	466666,6667
3	P_{KM3} , Н/м ²	129,601	275,0154	1398,9915	2799,5104	13999,899	139999,99	279999,9951	466666,6636
4	ΔP_{KM} , Н/м ²	10,399	4,9846	1,0085	0,4896	0,101	0,01	0,0049	0,0031
5	ΔP_{KM} , %	7,43	1,78	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$6,64 \cdot 10^{-7}$
6	P_{KM2} , Н/м ²	136,550	278,3455	1399,6737	2799,8366	13999,967	139999,99	279999,9984	466666,6657
Знаки при ΔG , полученные с P_{KM2} (см. табл. 2 [1]):									
7	для ΔG_{Γ} (гр. 17, стр. 2)	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»
8	для ΔG_{Φ} (гр. 18, стр. 2)	«+»	«+»	«+»	«+»	«+»	«+»	«+»	«+»
9	Знаки при ΔG_{Γ} , полученные с P_{KM1} (гр. 17, стр. 1 в табл. 2 [1])	«+»	«+»	«+»	«+»	«+»	«-»	«-»	«-»
10	Знаки при ΔG_{Φ} , полученные с P_{KM3} (гр. 18, стр. 3 в табл. 2 [1])	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»
Примечание. P_{KM} – капиллярные давления газа на различных уровнях пузырька M ; $\Delta P_{KM} = P_{KM1} - P_{KM3}$; ΔG_{Γ} и ΔG_{Φ} – приращения энергий пузырьков при их прилипании к гидрофобной (Γ) и гидрофильной (Φ) подложкам (переход $A \rightarrow M$).									

а затем резко растут по модулю. Такому колебанию способствуют операции вычитания в гр. 3 и 5 и деления в гр. 6, а резкий рост $\Delta(\Gamma)$ обусловлен тем, что относительно небольшая убыль Δd_e в нижней части гр. 3 значительно меньше соответствующей убыли прилипаемости ($\Delta G_{\Gamma}/V$) в гр. 4, что и приводит к многократному ($3500/811,2 = 4,3$) росту прилипаемости микрометровых пузырьков к гидрофобной поверхности (число 811,2 является средним арифметическим из верхних пяти чисел гр. 6).

В гр. 7 представлены удельные значения $\Delta G_{\Phi}/V$, вычисленные для перехода $A \rightarrow M$ на гидрофильной поверхности. Значения взяты из гр. 20 табл. 2–5. Они отражают понижение величины энергетического барьера на пути прилипания пузырьков A различного размера к гидрофильной поверхности.

Сопоставим данные гр. 7 и 9. В гр. 7 они плавно убывают практически до нуля и, казалось бы, препятствий к прилипанию пузырьков к гидрофильной поверхности практически нет. Однако из данных гр. 9 следует, что препятствие все же имеется, и это,

по-видимому, подтверждается данными практики пенной флотации микропузырьками в первых флотационных процессах — таких, как процесс братьев Бессель (1877 г.), вакуумный процесс Ф. Эльмора (1898 г.), кислотный процесс Поттера—Дельпра (1902 г.) и электролитическая флотация Ф. Эльмора (1904 г.) [3, 4]. Во всех этих процессах флотация производилась пузырьками, должно быть, крайне малого размера с получением приемлемых результатов. Вероятно, этого бы не происходило, если бы маленькие пузырьки беспрепятственно прилипали к гидрофильным породным частицам, как это можно было бы предположить на основании данных гр. 7. Кроме того, было установлено, что при использовании нанопузырьков для флотации угля и фосфатов дополнительно повышается гидрофобность поверхности частиц и улучшаются показатели пенной флотации [5]. Рост гидрофобности поверхности, по-видимому, обусловлен налипанием на нее микропузырьков.

В гр. 8 приводятся величины разности между смежными значениями $\Delta G_{\Phi}/V$ точно так же, как это

Таблица 7

Вычисленные параметры пузырьков разного размера, используемые при трактовке особенностей перехода $A \rightarrow M$ на гидрофобной и гидрофильной подложках

№ п/п	d_e , м	Δd_e , м	$\Delta G_I/V$, Дж/м ³	$\Delta(\Delta G_I/V)$, Дж/м ³	$\Delta(\Gamma)$, Дж/м ⁴	$\Delta G_\Phi/V$, Дж/м ³	$\Delta(\Delta G_\Phi/V)$, Дж/м ³	$\Delta(\Phi)$, Дж/м ⁴	θ_M , град	$K_\theta = \theta_2/\theta_1$, $K_a = a_2/a_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$2 \cdot 10^{-3}$		-1,678			4,108			37,3	1 1
		$1 \cdot 10^{-3}$		-0,827	-827		2,338	2338		
2	$1 \cdot 10^{-3}$		-0,851			1,770			17,8	1 1
		$8 \cdot 10^{-4}$		-0,686	-858		1,445	1810		
3	$2 \cdot 10^{-4}$		-0,165			0,325			3,50	1 1
		$1 \cdot 10^{-4}$		-0,055	-550		0,162	1620		
4	$1 \cdot 10^{-4}$		-0,110			0,163			1,75	1 1
		$8 \cdot 10^{-5}$		-0,091	-1138		0,1311	1640		
5	$2 \cdot 10^{-5}$		-0,0190			0,0319			0,35	7 14
		$1,8 \cdot 10^{-5}$		-0,0123	-683		0,0176	980		
6	$2 \cdot 10^{-6}$		-0,0067			0,0143			0,036	70 130
		$1 \cdot 10^{-6}$		-0,0038	-3800		0,0132	1300		
7	$1 \cdot 10^{-6}$		-0,0029			0,0011			0,020	200 300
		$4 \cdot 10^{-7}$		-0,0014	-3500		0,00108	2700		
8	$6 \cdot 10^{-7}$		-0,0015			0,00002			0,020	300 400

Примечание. d_e – экваториальный диаметр пузырька M ; $\Delta G_I/V$ – удельное приращение энергии пузырьков при их прилипании к гидрофобной (Γ) поверхности при переходе $A \rightarrow M$; $\Delta G_\Phi/V$ – энергетический барьер на пути пузырьков к гидрофильной (Φ) поверхности при переходе $A \rightarrow M$; $\Delta(\Gamma)$ – изменение прилипаемости пузырьков с изменением их размера (см. ур-е (1)); $\Delta(\Phi)$ – изменение энергетического препятствия к прилипанию пузырьков; θ_M – краевой угол смачивания; K_θ и K_a – коэффициенты растекания пузырьков по прилипшей твердой поверхности [2].

производилось в гр. 5 со значениями $\Delta G_I/V$, а гр. 9 содержит результаты деления полученных разностей $\Delta G_\Phi/V$ на соответствующие значения Δd_e из гр. 3. Полученный результат обозначается как $\Delta(\Phi)$ (по аналогии с разностью $\Delta(\Gamma)$, рассчитанной по уравнению (1)). С уменьшением d_e значения $\Delta(\Phi)$ поначалу снижаются, а затем растут — видимо, по тем же причинам, что и $\Delta(\Gamma)$.

В гр. 10 помещены значения краевых углов θ_M (из гр. 9 табл. 2–5), с которыми рассмотренные пузырьки могут закрепиться на подложке, а в гр. 11 — вычисленные значения коэффициентов растекания прилипших пузырьков [2] при незначительном снижении поверхностного натяжения σ на их поверхности. Вероятно, оба фактора способствуют активации флотации микропузырьками.

Для простоты трактовки результатов, содержащихся в табл. 7, рационально представить некоторые из них в виде графических зависимостей.

На рис. 1 приведены кривые Γ и Φ , иллюстрирующие зависимости удельной энергии $\Delta G/V$ от диаметра пузырька при переходе $A \rightarrow M$ на гидрофобной (Γ) и гидрофильной (Φ) подложках. Кривые построены по данным гр. 4 и 7 табл. 7. Треугольниками отмечены точки, соответствующие прилипанию пузырьков к подложке, а кружочками указаны величины энергетических барьеров на пути прилипания пузырька к гидрофильной поверхности. Точки пронумерованы.

Начиная с точки 7 ($d_e = 1$ мкм) кривые Γ и Φ на рис. 1 практически сливаются. Это обстоятельство выше уже рассматривалось. Хотелось бы отметить, что использование метода разностей в гр. 3, 4 и 7 и последующего их деления в гр. 6 и 9 (см. табл. 7) позволило избежать ошибки при трактовке полученных результатов.

На рис. 1 показаны точки 19 и 23, заимствованные из [6]. Они ошибочны. Ошибка была допущена на стадии определения параметров пузырька A на ос-

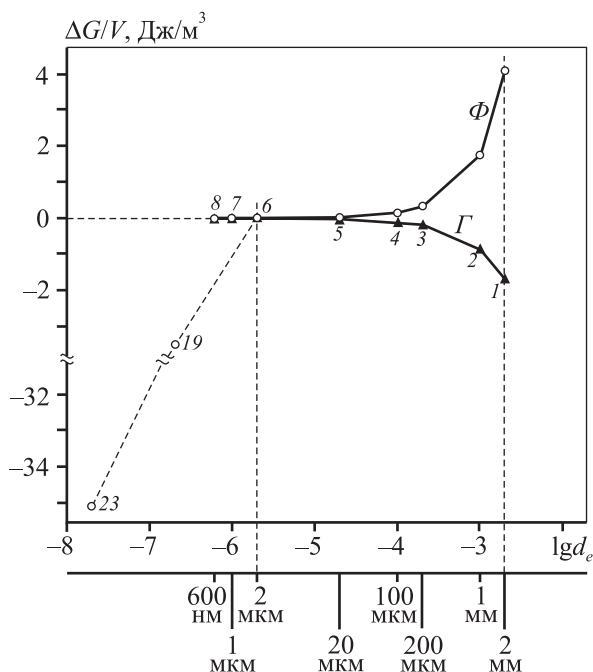


Рис. 1. Характер изменения удельной энергии ($\Delta G/V$) в зависимости от диаметра пузырьков при их переходе $A \rightarrow M$ на гидрофобной (Γ) и гидрофильной (Φ) подложках. Треугольниками отмечены точки, соответствующие прилипанию пузырьков к подложке, а кружочками – точки, показывающие величину энергетического барьера на пути к их прилипанию. Начиная с т. 7 ($d_e = 1$ мкм) кр. Γ и Φ сливаются, т.е. пузырьки как бы в равной мере могут прилипнуть как к гидрофобной, так и к гидрофильной поверхности, но это не так (см. объяснение в тексте). Т. 19 и 23, взятые из [6, рис. 3], ошибочны – новая методика расчета перехода $A \rightarrow M$ изначально исключает такие погрешности

нове предположения, что в момент перехода $A \rightarrow M$ объемы пузырьков одинаковы, т.е. $V_A = V_M$. Новая методика расчета перехода $A \rightarrow M$ исключает такие погрешности. Авторы сожалеют о допущенной ими ранее методической ошибке.

Приведенные на рис. 2 зависимости построены по данным гр. 6 и 9 табл. 7. Они позволяют показать рост прилипаемости пузырьков размером ≤ 1 мкм (зависимость $\Delta(\Gamma) = f(d_e)$) и сохранение тормозящего эффекта на пути между микрометровым пузырьком и гидрофильной поверхностью (зависимость $\Delta(\Phi) = f(d_e)$).

ВЫВОДЫ

1. Показано, что величины капиллярного давления в прилипших пузырьках M с экваториальными диаметрами d_e можно рассчитать по соотношению $P_{кМ} = 4\sigma/d_e$ при d_e от нескольких миллиметров до десятых долей микрометра.

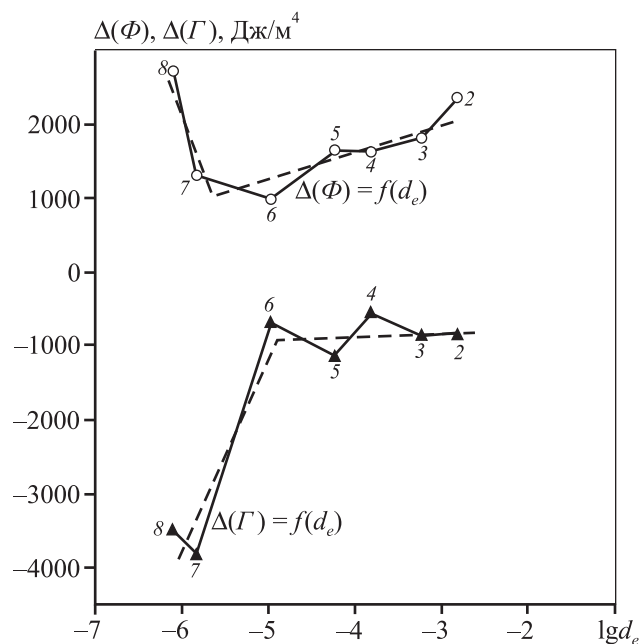


Рис. 2. Иллюстрация роста прилипаемости $\Delta(\Gamma)$ пузырьков микрометрового и меньшего размера (загиб после т. 6 вниз) и роста торможения их прилипания $\Delta(\Phi)$ к гидрофильной поверхности (загиб вверх после т. 6 и 7)

2. Рассмотрен метод расчета энергетической возможности перехода свободного пузырька A в прилипший пузырек M , или перехода $A \rightarrow M$, на предельно гидрофильной и предельно гидрофобной подложках с целью его дальнейшего применения к обычным подложкам с неполной смачиваемостью поверхности.

3. Описана методика прогнозирования прилипаемости микропузырьков или торможения этого процесса по величине отношения приращения этих свойств к приращению диаметра пузырька.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелик-Гайказян В.И., Емельянова Н.П., Юшина Т.И. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2013. № 1. С. 3.
2. Мелик-Гайказян В.И., Емельянов В.М., Емельянова Н.П. и др. // Там же. 2011. № 6. С. 3.
3. Hoover T.J. Concentrating ores by flotation. 3-rd ed. London: The Mining Magazine, 1916.
4. Сазерленд К.Л., Уорк И.В. Принципы флотации. М.: Металлургиздат, 1958.
5. Fan M., Tao D., Honaker R., Luo Z. // Mining Sci. Technol. 2010. Vol. 20, № 2. P. 159.
6. Мелик-Гайказян В.И., Емельянов В.М., Емельянова Н.П. и др. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2011. № 4. С. 3.