ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխ. գիտութ. սերիա XIV, № 3, 1961 Серия технических наук

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. Г. АЗИЗЯН, Р. А. МЕЛИКЯН, Н. И. СМИРНОВ

ГИДРОДИНАМИКА БАРБОТАЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

Сообщение 2. Вывод расчетных уравнений для массового всплывания пузырьков газа в среде жидкости при барботажном и смешанном режимах

В предыдущем сообщении [1] нами были опубликованы результаты изучения скорости массового всплывания пузырьков газа в среде жидкости в зависимости от различных факторов, действующих на эту скорость; там же был дан краткий обзор работ других авторов, касающихся этого вопроса. Было отмечено, что пока не достигнуты результаты, позволяющие иметь количественные расчетные уравнения, удобные для пользования; это является конечной целью выполненных нами работ. Одним из авторов настоящей работы [2] дана гидродинамическая классификация режимов, возникающих в этом процессе, согласно которой возможны: 1) барботажный режим, 2) смешанный барботажно-струйный режим, 3) пенный режим, 4) струнный режим.

Существование того или иного режима зависит от скорости подаваемого газа, причем наступление пенного режима было еще ранее количественно определено М. Е. Позиным и др. [3] в виде:

$$\frac{\gamma_c - \gamma}{\gamma_c - \gamma_в} = 0{,}5, \qquad (1)$$

где γ_c — удельный вес среды (жидкости);
$\gamma_в$ — удельный вес воздуха (газа);
γ — удельный вес газожидкостной смеси.

Р. А. Меликяном [2] точки перехода даны в виде:

$$\frac{h}{H} \leqslant 0{,}5 \text{ или } (W_{см})_{крит} \leqslant (W_s)_{ср}, \qquad (1a)$$

где h — начальная высота слоя жидкости;
H — высота газожидкостного столба;
$W_{см}$ — скорость газожидкостного потока;
$(W_s)_{ср}$ — средняя по высоте слоя жидкости скорость всплывания пузырьков газа.

Однако эти уравнения не позволяют заранее рассчитать точки перехода от одного режима к другому, так как опыты показали, что

значения γ, H и $(W_s)_{ср}$ зависят от многих факторов. То же самое относится к уравнению

$$(W_s)_{ср} = W_{см} \cdot \frac{h}{H - h} \cdot \qquad (2)$$

В настоящей работе мы задались целью вывести критериальные уравнения, учитывающие влияние различных факторов процесса, для расчета $(W_s)_{ср}$ и H в областях барботажного и смешанного режимов, а также критериальное уравнение, определяющее переход от первого ко второму, так как эти режимы наиболее часто встречаются на практике. Как ниже будет показано, ввиду сложности процесса, переход от одного гидродинамического режима к другому зависит не только от величины критерия Рейнольдса, но также и от других критериев.

Вывод критериальных уравнений базируется на экспериментальных данных, опубликованных в предыдущем сообщении [1]. В упомянутых экспериментах было показано, что скорость всплывания газа зависит от начального слоя жидкости h, диаметра отверстия распределительной тарелки d_0, числа отверстий тарелки n, диаметра колонны D, характера жидкости и скорости газожидкостной смеси. К этим величинам можно добавить также характеризующий свойства газа удельный вес *$\gamma_в$, диаметр распределительной тарелки d_1, так как не во всех случаях он совпадает с диаметром колонны. В этих случаях среднее для данного слоя жидкости значение диаметра колонны определялось по уравнению:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}}, \qquad (3)$$

где V — объем заливаемой жидкости.

Перечисленные величины достаточны для количественного описания скорости всплывания газа в исследуемых двух режимах. Что касается величины и концентрации пузырьков, то как ранее отмечалось [1] они зависят от диаметра и числа отверстий распределительной тарелки, скорости прохождения газа через отверстия, высоты слоя и характера жидкости. Поэтому отсутствие величин диаметра и концентрации пузырьков не мешает количественному определению $(W_s)_{ср}$ и H. Кроме того в изучаемых режимах размер и концентрация пузырьков переменны по высоте слоя и не поддаются измерению, поэтому если бы эти величины входили в расчетные уравнения, то последние стали неудобными для применения.

Таким образом средняя скорость всплывания пузырьков газа $(W_s)_{ср.}$ и высота газожидкостного столба H оказываются функциями следующих величин:

---

* Вязкость пропускаемого газа (воздуха) не оказывает существенного влияния [4].

$$(W_s)_{ср.} = f(W_{см},\ h,\ d_0,\ D,\ d_1,\ n,\ \gamma_c,\ \gamma_в,\ \mu_c,\ \sigma) \quad (4)$$

$$H = f_1(W_{см},\ h,\ d_0,\ D,\ d_1,\ n,\ \gamma_c,\ \gamma_в,\ \mu_c,\ \sigma), \quad (5)$$

где μ_c — вязкость жидкости,

σ — поверхностное натяжение на границе фаз.

В уравнениях (4) и (5) все величины легко подаются измерению, число переменных равно 11, а выражены они с помощью трех единиц измерения (*кг, м, сек*). Следовательно, на основании П-теоремы теории размерностей зависимость между этими переменными должна выражаться (11—3) восемью критериями, которые найдены с помощью обычных приемов теории размерностей* [6].

Нахождение первого критерия, в который должна войти вычисляемая величина, очевидно: это должно быть отношение скоростей $\frac{(W_s)_{ср}}{W_{см}}$ или отношение высот $\frac{h}{H}$. Мы можем принять:

$$\Pi_1 = \frac{(W_s)_{ср}}{W_{см}} + 1 = \omega \quad (6)$$

и

$$\Pi_1' = 1 - \frac{h}{H} = \varepsilon, \quad (7)$$

так как применение критерия $1 - \frac{h}{H} = \varepsilon$ распространено, а для получения аналогичного критерия, выраженного в скоростях, мы примем $\frac{(W_s)_{ср}}{W_{см}} + 1 = \omega$, причем $\omega = \frac{1}{\varepsilon}$.

Второй критерий — Рейнольдса:

$$\Pi_2 = \frac{d_0 \cdot W_d \cdot \gamma_c}{\mu_c \cdot g} = Re.$$

Здесь W_d — скорость газа в свободном сечении распределительной тарелки, которая вместе с диаметром отверстия d_0 обуславливает размер образующихся пузырьков. Применение W_d вместо $W_{см}$ не противоречит условиям П-теоремы, так как:

$$W_d = W_{см} \cdot \frac{F}{f} = W_{см} \cdot \frac{\pi D^2}{n \cdot \pi d_0^2}. \quad (8)$$

Третий критерий — Архимеда:

$$\Pi_3 = \frac{d_0^3 \cdot \gamma_c^2 \cdot (\gamma_c - \gamma_в)}{\mu_c^2 \cdot g \cdot \gamma_в} = Ar.$$

---

* Сущность нахождения сводится к решению системы трех уравнений с 11-ю неизвестными, где неизвестными являются показатели степеней размерностей: *кг, м, сек*. Учитывая условия опытов можно решить эти уравнения и определить показатели степеней размерностей, переменные которых и составляют в каждом случае определенный безразмерный критерий.

Четвертый критерий — Вебера:

$$\Pi_4 = \frac{\sigma}{d_0^2 \cdot \gamma_c} = We.$$

Пятый, шестой, седьмой и восьмой критерии представляют критерии геометрического подобия, подобранные так, чтобы учитывать влияние конструкции аппаратуры:

$$\Pi_5 = \frac{d_0}{h} = \Gamma_1;\ \Pi_6 = \frac{d_0}{D} = \Gamma_2';\ \Pi_7 = \frac{f}{F} = \frac{n \cdot \pi d_0^2}{\pi D^2} = \Gamma_4;\ \Pi_8 = \frac{D}{d_1} = \Gamma_3.$$

Таким образом должны иметь место следующие соотношения:

$$f(\omega,\ Re,\ Ar,\ We,\ \Gamma_1,\ \Gamma_2',\ \Gamma_3,\ \Gamma_4) = 0; \tag{9}$$

$$f_1(\varepsilon,\ Re,\ Ar,\ We,\ \Gamma_1,\ \Gamma_2',\ \Gamma_3,\ H_4) = 0. \tag{9а}$$

Задача сводится к установлению математического вида этих зависимостей. Мы приняли в качестве исходной следующую функцию, показатели которой подлежат подбору по имеющимся опытным данным.

$$\omega = a \cdot Re^x \cdot Ar^y \cdot We^z \cdot \Gamma_1^l \cdot (\Gamma_2')^k \cdot \Gamma_3^m \cdot \Gamma_4^n; \tag{10}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{a} \cdot Re^{-x} \cdot Ar^{-y} \cdot We^{-z} \cdot \Gamma_1^{-l} \cdot (\Gamma_2')^{-k} \cdot \Gamma_3^{-m} \cdot \Gamma_4^{-n}. \tag{10а}$$

Для определения показателей степеней и коэффициентов уравнений (10 и 10а) был использован графический метод, наиболее удобный для обработки имеющихся опытных данных. Сущность метода сводится к нахождению зависимости между двумя величинами при постоянстве других [5, 9]. При этом все постоянные могут быть введены в коэффициенты уравнения (10), которое примет вид:

$$\omega = A \cdot Re^x.$$

Откладывая в координатах ω — Re по логарифмической шкале эти величины и соединяя все точки, получим в данном случае прямую, тангенс угла наклона которой будет численно равен показателю степени x. Коэффициент уравнения легко определится:

$$A = \frac{\omega}{Re^x}.$$

Затем выбираем группы опытов с разными величинами Γ_1 (при постоянстве для каждой группы остальных величин) и аналогичным образом находим коэффициент и показатель степени уравнения

$$A = B \cdot \Gamma_1^l.$$

Так продолжается до нахождения всех показателей степеней и коэффициентов уравнений (10) и (10а). Аналогично устанавливается число гидродинамических режимов, подчиняющихся различным количественным закономерностям. Для этого строим в логарифмической шкале зависимости

$$\frac{(W_s)_{ср}}{W_{см}} = f(Re_{см}) \text{ и } \varepsilon = f_1(Re_{см})$$

(рис. 1 и 2 для группы опытов с распределительной тарелкой № 7 в колонне $D = 0{,}076$ *м*, жидкость — вода). Здесь критерий Рейнольдса рассчитан (в отличие от применяемой ранее величины* Re) для газожидкостной смеси:

$$Re_{см} = \frac{D \cdot W_{см} \cdot \gamma_ж}{\gamma_ж \cdot g},$$

что сделано для удобства сравнения рисунков 1 и 2 с кривыми $W_{см} - (W_s)_{ср}$, приводимыми в предыдущем сообщении. Рисунки 1 и 2 четко указывают на излом линий, т. е. на изменение показателя сте-

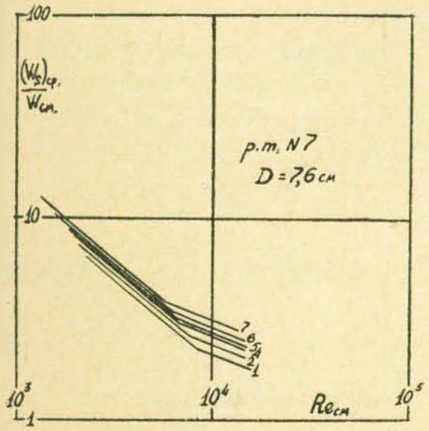

Рис. 1.

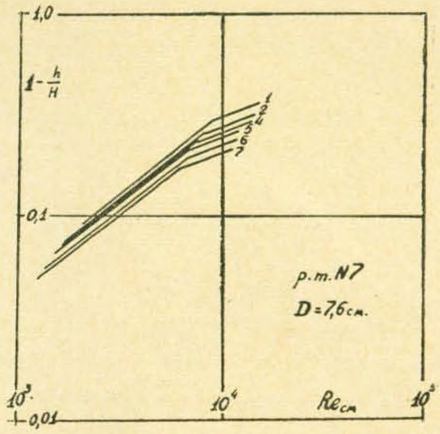

Рис. 2.

пени критерия Рейнольдса. Это изменение соответствует таким скоростям газожидкостной смеси $W_{см}$, при которых кривые (см. сообщение 1), построенные в координатах $W_{см} - (W_s)_{ср}$. имеют минимум [1]. Таким образом, высказанное в предыдущем сообщении мнение о том, что в точках минимума кривых наступает переход барботажного режима в смешанный (барботажно-струйный) можно считать количественно подтвержденным.

На рис. 1 и 2 в области перехода от барботажного режима к смешанному (т. е. в месте излома линии) экспериментальные точки отклоняются от линий (рис. 3). Это может быть объяснено тем, что переход от данного режима к другому происходит постепенно и разновременно по высоте газожидкостного столба [1].

В ходе решения задачи выяснилось, что критерии геометрического подобия Γ_2 и Γ_4 имеют показатель степени, отличающийся лишь знаком, но одинаковый по величине, что позволило их объединить в один критерий:

* При рассчетах Re и $Re_{см}$ везде берется вязкость жидкости, так как вязкость газа не оказываетсущественного влияния [4] и по величине намного меньше вязкости жидкости. То же самое относится и к величине удельного веса.

$$\Gamma_2^{0,85} = (\Gamma_2^1)^{-0,85} \cdot \Gamma_4^{0,85} = \left(\frac{D}{d_0} \cdot \frac{n \cdot \pi d_0^2}{\pi D^2}\right)^{0,85} = \left(\frac{n d_0}{D}\right)^{0,85}. \quad (11)$$

После определения значений всех показателей и коэффициентов, уравнения принимают следующий вид:

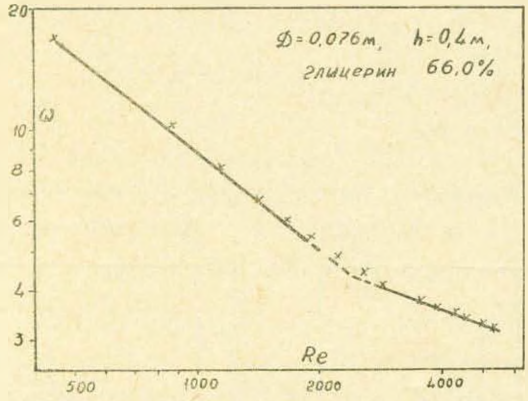

Рис. 3.

Для барботажного режима:

$$\omega = 0{,}475\ Re^{0,8} \cdot Ar^{0,45} \cdot We^{0,2} \cdot \Gamma_1^{-0,24} \cdot \Gamma_2^{-0,85} \cdot \Gamma_3 \quad (12)$$

или

$$\varepsilon = 2{,}1 \cdot Re^{0,8} \cdot Ar^{-0,45} \cdot We^{-0,2} \cdot \Gamma_1^{0,24} \cdot \Gamma_2^{0,85} \cdot \Gamma_3^{-1}. \quad (12а)$$

Для смешанного барботажно-струйного режима:

$$\omega = 0{,}261 \cdot Re^{-0,375} \cdot Ar^{0,225} \cdot We^{0,2} \cdot \Gamma_1^{-0,25} \cdot \Gamma_2^{-0,85} \cdot \Gamma_3 \quad (13)$$

или

$$\varepsilon = 3{,}8\ Re^{0,375} \cdot Ar^{-0,225} \cdot We^{-0,2} \cdot \Gamma_1^{0,25} \cdot \Gamma_2^{0,85} \cdot \Gamma_3^{-1}. \quad (13а)$$

Для удобства расчета эти уравнения можно представить в следующем виде.

Для барботажного режима:

$$(W_s)_{ср.} = \left(\frac{D^{1,85} \cdot h^{0,24}}{a \cdot d_0^{0,94} \cdot d_1 \cdot n^{0,85} \cdot W_d^{0,8}} - 1\right) \cdot W_{см}$$

и

$$H = \frac{D^{1,85} \cdot h^{1,24}}{D^{1,85} \cdot h^{0,24} - a \cdot d_0^{0,94} \cdot d_1 \cdot n^{0,85} \cdot W_d^{0,8}};$$

Для смешанного барботажно-струйного режима:

$$(W_s)_{ср.} = \left(\frac{D^{1,85} \cdot h^{0,24}}{b \cdot d_0^{1,2} \cdot d_1 \cdot n^{0,85} \cdot W_d^{0,375}} - 1\right) \cdot W_{см};$$

и

$$H = \frac{D^{1,85} \cdot h^{1,24}}{D^{1,85} \cdot h^{0,24} - b \cdot d_0^{1,2} \cdot d_1 \cdot n^{0,85} \cdot W_d^{0,375}},$$

где коэффициенты a и b зависят только от физико-химических свойств жидкости и газа.

Совместное решение уравнений (12) и (13) позволяет получить критериально выраженное условие для перехода от барботажного к смешанному режиму:

$$Re^{0,425} \cdot Ar^{-0,225} \cdot \Gamma_1^{-0,01} = 1,82 \qquad (14)$$

или в развернутом виде и с небольшими округлениями:

$$(W_{см})_{крит} = 11,4 \cdot \frac{\gamma_c^{0,6} \cdot n \cdot d_0^{2,6}}{\gamma_в^{0,3} \cdot \mu_c^{0,06} \cdot D^2}. \qquad (15)$$

При этом критерий $\Gamma_1^{-0,01}$ не учитывается, в виду того, что его значения близки к единице.

Обсуждение результатов. Размер статьи не позволяет привести таблицы сравнения расчетных и опытных данных полностью, так как сделано более 1450 опытов.

На рис. 4 и 5 графически показаны расхождения опытных величин от расчетных, представленных в логарифмических шкалах.

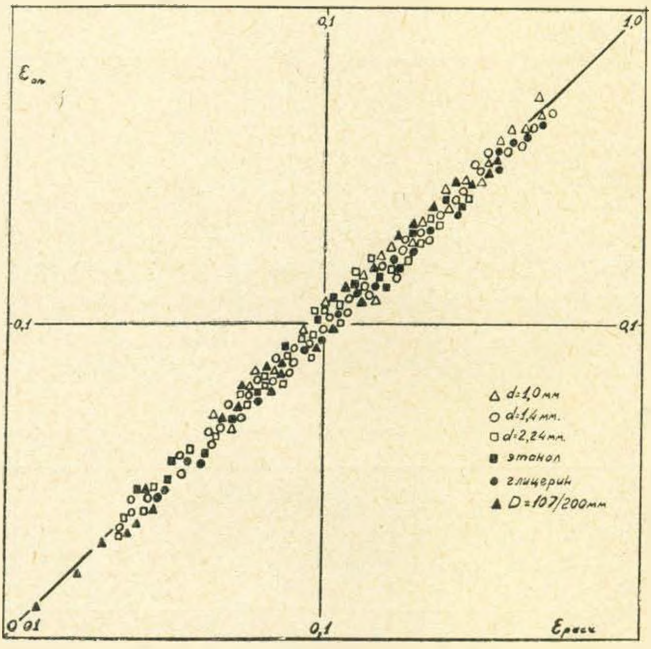

Рис. 4.

На этих рисунках указана только часть точек, так как технически невозможно было показать повторяющиеся и близкие друг к другу точки.

Отклонения расчетных величин от опытных составляют для ε

54,7% всех данных до $\pm$ 8%;
41,8% „ „ от $\pm$ 8 до $\pm$ 15,
3,5% „ „ свыше $\pm$ 15%

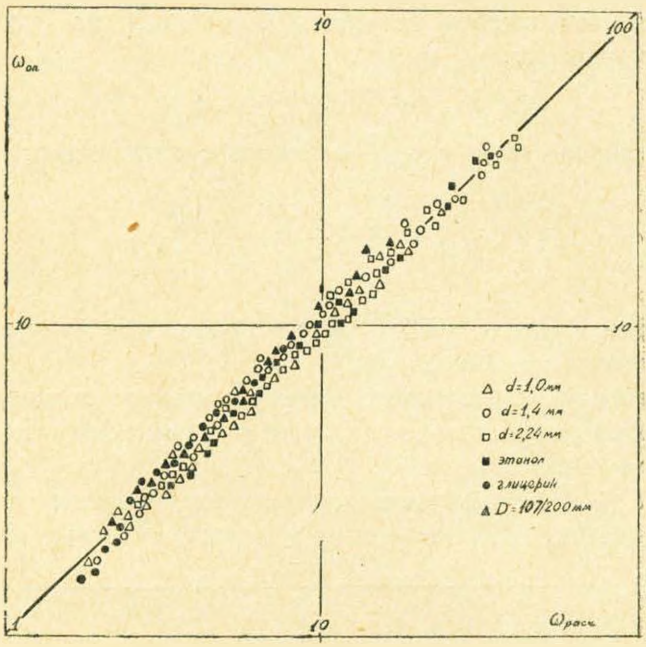

Рис. 5.

для ω — 51,7% всех данных до ± 8%,
40.1% „ „ от ± 8 до ± 15%;
8,2% „ „ свыше ± 15%.

Для наглядности приведена таблица 1, где указываются данные для одной группы опытов с условиями $n = 20$; $d_0 = 1{,}0$ *мм*; $d_1 = D = 76$ *мм*; $h = 0{,}5$*м*; $t = 18$ С; $\Gamma_1 = 0{,}002$; $Ar = 0{,}81 \cdot 10^7$; $We = 7{,}47$; $\Gamma_2 = 0{,}263$; $\Gamma_3 = 1$; переход от барботажного к смешанному режиму при $Re = 20000$:

Таблица 1

№№ опытов	H в *мм*	W см в *см/сек*	$W_{s/ср}$ расчетное в *см/сек*	$W_{s/ср}$ опытное в *см/сек*	Re	ω расчетное	ω опытное	% расхождения ω	ε расчетное	ε опытное	% расхождения ε
288	560	2,8	26,6	23,3	7580	10,50	9,30	—11,5	0,095	0,105	+10,5
289	570	3,2	27,0	22,8	8660	9,42	8,13	—13,7	0,106	0,122	+15,0
290	580	4,0	28,0	25,0	10850	8,00	7,25	— 7,5	0,127	0,137	+ 8,0
291	595	4,9	28,4	25,8	13300	6,80	6,27	— 7,7	0,150	0,160	+ 6,6
292	610	6,1	28,8	27,7	16500	5,72	5, 8	— 2,4	0,179	0,180	+ 0,6
293	625	6,9	28,4	27,6	18700	5,11	5,00	— 2,2	0,199	0,200	+ 0,5
294	635	7,9	31,0	29,3	21400	4,89	4,70	— 3,9	0,202	0,212	+ 5,0
295	635	8,4	32,1	31,2	22800	4,82	4,72	— 2,1	0,206	0,212	+ 2,9
296	640	9,1	33,3	32,5	24700	4,66	4,57	— 1,7	0,212	0,218	+ 3,0
297	645	9,8	34,7	33,7	26600	4,55	4,44	— 2,5	0,217	0,224	+ 3,2
298	650	10,3	35,5	34,3	27900	4,44	4,33	— 2,3	0,221	0,230	+ 4,0
299	655	11,2	37,0	36,2	30300	4,30	4,23	— 1,7	0,228	0,235	+ 3,0

Расхождения опытных и расчетных величин лежат в допустимых пределах. Основная часть больших по величине расхождений приходится на:

а) опыты с очень небольшими скоростями газа, когда величина $\frac{h}{H}$ близка к единице и поэтому небольшая субъективная ошибка при замере высоты H сильно искажает в дальнейшем величины $\varepsilon_{оп}$ и $\omega_{оп}$;

б) опыты с весьма большими скоростями газа, когда в верхней части газожидкостного столба образуется слой пены и пленок, затрудняющий замер высоты H;

в) опыты с небольшой высотой слоя жидкости $h = 100$ *мм*, когда невелика также высота H, почему и незначительные ошибки в ее замере существенно влияют на результаты;

г) опыты с глицерином, который, как уже отмечалось [1] имеет тенденцию к образованию мелких и устойчивых взвесей воздуха.

В таблице 2 значение $(W_{см})_{кр}$, рассчитанные по уравнению (15) для разных случаев сопоставляются с экспериментальными значениями $W_{см}$, соответствующими минимумам кривых, приводимых в сообщении [1].

Таблица 2

Условия опыта / $W_{см}$ в *м/сек*	Р. т. № 3 D=76 *мм* вода	Р. т. № 7 D=76 *мм* вода	Р. т. № 7 D=107 *мм* вода	Р. т. № 12 D=76 *мм* вода	Р. т. № 12 D=76 *мм* этанол 96%
$(W_{см})$ кр.—расчетное	0,0986	0,12	0,065	0,103	0,092
$(W_{см})_{min}$ — опытное	0,085—0,115	0,075—0,13	0,06—0,095	0,1—0,12	0,1—0,125

В графе $(W_{см})_{min}$ показаны пределы для различных значений h. Как показывают данные таблицы, начальная высота слоя жидкости влияет на точку перехода гидродинамических режимов, однако при обработке данных и выводе уравнений (14) она оказалась в степени лишь 0,01 и не была учтена. Это в некоторой мере снижает точность уравнения (15).

Позин и Тумаркина отмечали [7], что при больших скоростях газа уменьшается влияние свойств жидкости на величину газожидкостного столба. Выведенные уравнения (12) и (13) позволяют сказать, что влияния удельного веса и вязкости действительно уменьшаются, так как абсолютные величины показателей степеней критериев Рейнольдса и Архимеда при переходе от барботажного к смешанному режиму убывают, примерно вдвое. Что же касается поверхностного натяжения на границе фаз, то его влияние остается неизменным, так как величина показателя степени критерия Вебера не меняется. Влияние геометрических критериев остается почти неизменным.

Отметим, что обработка данных, полученных Аксельродом и Дильманом [8] показывает большое расхождение опытных и расчетных величин (на 25% и более), что можно объяснить или неприменимостью формул (13) и (13а) к струйному режиму, или же неточностью замера, вызванного малой начальной высотой слоя жидкости h, в опытах упомянутых авторов.

Выводы

1. Показано, что при скоростях подачи газа до 0,35 *м/сек* в слой различных жидкостей возникают два гидродинамических режима, названные ранее режимами свободного всплывания пузырьков в среде жидкости (или барботажным) и смешанным, или чередующимся барботажным и струйным режимом в одном и том же слое жидкости.

2. Выведены критериальные уравнения для расчета средней скорости всплывания газа и высоты газожидкостного столба в области упомянутых двух гидродинамических режимов.

3. Выведено критериальное уравнение, определяющее точки перехода от барботажного к смешанному режиму.

4. Рассмотренные критериальные уравнения удобны для пользования, так как заключают в себе легко измеряемые параметры. Поэтому они позволяют рассчитывать условия для протекающих в различных аппаратах технологических процессов в зависимости от свойств применяемых веществ и конструкции аппаратов.

Завод им. С. М. Кирова Поступило 28.I 1960

Ա. Հ. ԱԶԻԶՅԱՆ, Ռ. Ա. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ն. Ի. ՍՄԻՐՆՈՎ

ԲԱՐԲՈՏԱԺԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ՀԻԴՐՈԴԻՆԱՄԻԿԱՆ

Հաղորդում 2. Հեղուկ միջավայրում գազային բշտիկների մասսայական վերլողման հաշվման հավասարումների առաձգումը բարբոտաժային և խառը ռեժիմների համար

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հոդվածում տրվում է հիդրոդինամիկ ռեժիմների թվարկումը, որոնք տեղի են ունենում հեղուկում գազի անցման դեպքում։ Առաջին հաղորդման մեջ նկարագրած փորձերի հիման վրա եզրակացվում է, որ գազի վերլողման միջին արագությունը և գազահեղուկային սյան բարձրությունը կախված են գազահեղուկային խառնուրդի բարձրացման արագությունից (կամ անցնող գազի արագությունից), հեղուկի սկզբնական սյան բարձրությունից, բաշխիչ ափսեի անցքերի տրամագծից և նրանց թվից, բաշխիչ ափսեի տրամագծից, ապարատի տրամագծից, հեղուկի և գազի տեսակարար կշիռներից, հեղուկի մածուցիկությունից և հեղուկ-գազ ֆազաների սահմանում մակերևույթային լարվա-

ծությունից։ Նմանության և չափման միավորների տեսությունների սովորական միջոցներով գտնված են չափանիշներ, որոնց օգնությամբ այդ վերոհիշյալ փոփոխական մեծությունները արտահայտվում են։ Մշակելով տվյալները գրաֆիկական եղանակով գտնված է այդ չափանիշների միջև մաթեմատիկական կախումը և հետևաբար գտնված են կրիտերիալ հավասարումներ բարբոտաժային և խառն բարբոտաժային-շիթային ռեժիմների համար։

Նշված է, որ անցումը առաջին ռեժիմից դեպի երկրորդը տեղի է ունենում գազի վերլուծման միջին արագության մինիմալ մեծության դեպքում։ Երկու վերոհիշյալ ռեժիմների համար արտահայտված հավասարումների համատեղ լուծումով ստացված է անցման մոմենտին բնորոշող հավասարում։

Փորձնական և հաշված տվյալների համեմատությունը տրվում է գրաֆիկ ձևով և ցույց է տալիս նրանց բավարար համընկումը. բոլոր տվյալների ավելի քան 90 % տալիս է շեղում մինչև ± 15 %, թստ որում բացատրվում են մեծ շեղումների պատճառները։

Համառոտ տրվում է ստացված հավասարումների համեմատությունը այլ հեղինակների տվյալների հետ։

Քանի որ ստացված հավասարումները իրենց մեջ մեծություններ են պարունակում, որոնք հեշտությամբ ենթարկվում են չափման, ապա նրանք թույլ են տալիս տարբեր ապարատներում կատարվող տեխնոլոգիական պրոցեսների համար պայմաններ հաշվել։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азизян А. Г., Меликян Р. А. Смирнов Н. И.* „Известия АН Армянской ССР" (серия техн. н.), №2, 1961.
2. *Меликян Р. А.* ЖПХ, 31, 550, 1958.
3. *Позин М. Е., Мухленов И. П., Тумаркина Е. С., Тарат Э. Я.* ЖПХ, 27, 1, 12, 1954.
4. *Смирнов Н. И., Рубан В. Л.* ЖПХ, 24, 1, 47, 1951.
5. *Ьлох Е. В.* Основные графические методы обработки опытных данных. Машгиз. 1951.
6. *Романков П. Г.* Гидравлические процессы химической технологии. ГХИ, 1948.
7. *Позин М. Е., Тумаркина Е. С.* ЖПХ, 27, 11, 1170, 1954.
8. *Аксельрод Л. С., Дильман В. В.* ХП, 1, 28, 1954.
9. *Батунер Л. М., Позин М. Е.* Математические методы в химической технике. ГХИ, 1955.