

УДК 544.773.2:66.069.82

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ СТЕКЛЯННЫХ ФИЛЬТРОВ ШОТТА №4

**В.О. Ильина**, студентка

**В.В. Костик**, кандидат химических наук

**Ю.Г. Чернякова**, кандидат физико-математических наук

*Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, sevaboydog@ukr.net*

На основании экспериментальных исследований и подобранных теоретических зависимостей, разработана методика, позволяющая определять основные гидродинамические характеристики газожидкостных систем, образующихся путем продавливания воздуха через пористые элементы стеклянных фильтров при расходах воздуха  $1,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ см}^3/(\text{см}^2 \text{ с})$  и разной высоте слоя воды над генератором пузырьков.

**Ключевые слова:** гидродинамика, газожидкостные системы, коллективная скорость всплывания, объемная доля пузырьков.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В технологических процессах водоочистки широко применяются динамические двухфазные системы, представляющие собой всплывающие в воде пузырьки воздуха [1]. Такие газожидкостные системы, в зависимости от их предназначения, должны иметь определенные гидродинамические характеристики. Например, для того чтобы насытить кислородом воздуха сточную воду в аэротенке, пузырьки должны быть по возможности меньшего размера и медленно всплывающими. В этом случае необходим стоковский (ламинарный) гидродинамический режим обтекания пузырьков, который позволяет обеспечить большую площадь границы раздела фаз и время, достаточное для осуществления медленных процессов диффузии. В накопителях и усреднителях сточных вод наоборот, пузырьки должны быть крупными, всплывающими в так называемом потенциальном режиме, при котором возникают турбулентные потоки, интенсивно перемешивающие воду и способствующие ортокинетической коагуляции взвешенных загрязняющих веществ. Особенно важны характеристики газожидкостной системы в процессах флотационной очистки воды, в которых конечный результат зачастую зависит от направленности гидродинамических сил, действующих между коллективно всплывающими пузырьками и частицами малого размера (менее 10 – 15 мкм). Обычно в процессах флотации используют переходный гидродинамический режим, параметры которого лежат в довольно широком диапазоне между стоковским и потенциальным режимами всплывания пузырьков. Разработчики теории флотации малых частиц [2], отмечая слабую изученность гидродинамики флотационных процессов, указывают, что резервы интенсификации очистки воды кроются в оптимизации гидродинамических параметров флотации.

В известных нам работах [3 – 5], посвященных исследованию закономерностей флотационной

очистки воды, мало внимания уделяется гидродинамическому взаимодействию пузырька с частицами извлекаемого компонента. В статьях обычно приведены ничем не обоснованные расход воздуха, подаваемый на генератор пузырьков флотационной колонки и ее геометрические размеры. Этой информации явно не достаточно для проектирования и производства специальных флотационных машин и оборудования водоочистки, что, очевидно, сдерживает внедрение перспективного флотационного метода в практику водоочистки. Поэтому исследовательские работы, направленные на изучение гидродинамических характеристик флотационных систем, представляются актуальными как с теоретической, так и практической точки зрения.

В данной работе проведен дисперсный анализ и исследованы основные гидродинамические характеристики газожидкостных систем, образованных с помощью пористых пластинок стеклянных фильтров Шотта №4 при расходах воздуха и высоте слоя дистиллированной воды над генератором пузырьков, которые обычно применяются в лабораторных исследованиях закономерностей флотационной очистки воды.

### 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве колонки для изучения физико-химических закономерностей флотационной очистки воды обычно используют стеклянные цилиндры разной высоты. Дном колонки и одновременно генератором пузырьков воздуха служит пористая пластинка фильтра Шотта, которую получают путем спекания при высокой температуре стеклянного порошка определенной зернистости. В табл.1 приведены выпускаемые промышленностью классы стеклянных фильтров с указанием среднего размера пор, определенных по стандарту ISO и ASTM.

**Таблица 1** – Выпускаемые промышленностью стеклянные фильтры и характерные для них размеры пор, определенные по стандартам ISO и ASTM. [http://steklosib.livejournal.com]

Стандарт ISO	Размер пор, мкм	Стандарт ASTM	Размер пор, мкм
Класс 00	250 – 500	Класс EC (Extra Coarse)	170 – 220
Класс 0	160 – 250	Класс C (Coarse)	40 – 60
Класс 1	100 – 160	Класс M (Medium)	10 – 16
Класс 2	40 – 100	Класс F-BS (Fine BS)	4 – 10
Класс 3	16 – 40	Класс F-ASTM (Fine ASTM)	4 – 5,5
Класс 4	10 – 16	Класс VF (Very Fine)	2 – 2,5
Класс 5	1,0 – 1,6	Класс UF (Ultra Fine)	0,9 – 1,4

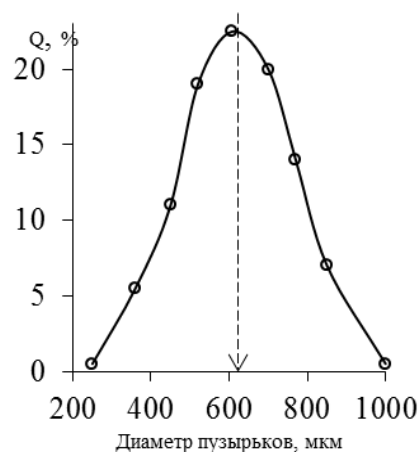
В лабораторных исследованиях флотационных систем чаще других используют фильтры Шотта класса № 4. Для проверки идентичности фильтров по основной характеристике (размер пор), был проведен дисперсный анализ коллектива пузырьков, образующихся в дистиллированной воде с помощью трех разных фильтров Шотта №4, взятых из одной партии. Фильтры впаивали в дно прямоугольной стеклянной колонки, размеры которой составляли 25×30×100 мм.

Чтобы исключить загрязнение дистиллированной воды поверхностно-активными веществами (ПАВ), воду перед дистилляцией обрабатывали  $KMnO_4$  по методике, изложенной в руководстве Ю.В. Карякина [6]. Колонку и запаянный стеклянный капилляр, который служил эталоном для определения истинных размеров пузырьков, обрабатывали горячей хромовой смесью и большим количеством свежеприготовленной для исследования воды. Воздух на пористую пластинку колонки подавали компрессором через ресивер под давлением 1,5 атм. Расход воздуха контролировали с помощью реометра и поддерживали равным  $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{см}^2 \text{ с}$ .

Размер пузырьков воздуха определяли путем фотографирования прямоугольной колонки с газожидкостной системой. Техника фотосъемки и обработки снимков была аналогична описанной в литературе [7].

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований, в которых измеряли не менее 500 пузырьков для каждого фильтра, получены практически одинаковые кривые распределения пузырьков по размерам. Все кривые близки по форме к нормальному распределению с некоторыми расхождениями в области больших диаметров пузырьков. Для того чтобы придать результатам дисперсного анализа большую информативность по размерам пузырьков, измеренные величины для трех фильтров обобщили в один массив данных, разбили его на группы пузырьков с характерными размерами и, после усреднения в группах, по полученным результатам построили общую кривую распределения, которая представлена на рис. 1.



**Рис. 1** – Кривая распределения по размерам пузырьков, образующихся с помощью пористых пластинок фильтров Шотта №4 в дистиллированной воде.

Как видно из рис. 1, диаметры пузырьков распределяются в довольно широком интервале 250 – 1000 мкм. Максимум распределения приходится на 608 мкм. Средний диаметр пузырьков составляет 612 мкм. Незначительное отклонение кривой от нормального распределения по размерам может быть обусловлено коалесценцией пузырьков как при образовании их из близко расположенных пор, так и в результате столкновений при коллективном движении в объеме воды.

Таким образом, в результате проведенного дисперсного анализа установлено, что фильтры Шотта №4, взятые из одной партии, имеют близкие по пористости стеклянные пластинки и позволяют получать газожидкостные системы, гидродинамические характеристики которых стабильны для заданного расхода воздуха.

В результате анализа литературы подобрана формула [8], расчеты по которой дают сопоставимые с экспериментально полученными размерами пузырьков

$$d = \left[ \frac{6 \cdot d_k \cdot \sigma}{\Delta \rho \cdot g} \cdot \left( \sin \theta + \frac{d_k \cdot \Delta \rho \cdot g \cdot h}{4 \cdot \sigma} \right) \right]^{1/3}, \quad (1)$$

где  $d_k$  – диаметр капилляра, из которого образует-

ся пузырек;  $\sigma$  – поверхностное натяжение воды;  $\theta$  – краевой угол смачивания стекла водой;  $h$  – высота столба воды над генератором пузырьков;  $\Delta\rho$  – разность плотностей воды и воздуха;  $g$  – ускорение свободного падения.

В расчетах по формуле (1) использовали справочные данные для воды при 20°C [9], краевой угол смачивания, как и в работе [8], принимался равным 18°. Размеры пор стеклянных пластин фильтра (табл.1) считали равными эффективным диаметрам капилляров ( $d_k$ ). Рассчитывали диаметры пузырьков для семи размеров пор фильтра в интервале от  $1,0 \cdot 10^{-3}$  до  $1,6 \cdot 10^{-3}$  см и определяли их среднее значение. Результаты расчетов по формуле (1) приведены в табл.2.

Анализируя данные, приведенные в табл.2,

следует отметить, что в теоретических расчетах получен наименьший диаметр пузырька, равный 528 мкм, в то время как в экспериментах были измерены пузырьки с меньшими размерами (250 – 520 мкм). Это можно объяснить тем, что в опытах на пористую пластинку подавали воздух под давлением, обеспечивающим работу пор наименьшего размера.

**Таблица 2** – Зависимость диаметра пузырька воздуха ( $d$  мкм), рассчитанного по формуле (1), от размера пор фильтра Шотта № 4 ( $d_k$ ) и высоты слоя воды ( $h$ ).

$d_k$ , см	Высота слоя воды над генератором пузырьков ( $h$ ), см				
	5	10	15	20	25
0,001	528	537	545	554	562
0,0011	546	556	566	575	584
0,0012	563	574	585	595	605
0,0013	579	591	603	615	626
0,0014	595	608	621	634	646
0,0015	609	624	638	652	665
0,0016	624	640	655	670	684
Сред- ние $d$ , мкм	578	590; 612*	602	613	624

\* – экспериментально найденная величина среднего диаметра пузырьков.

При этом из относительно крупных пор фильтра воздух может истекать струей, которая, как известно [10], на определенной высоте от генератора пузырьков спонтанно дробится на пузырьки малого размера. Если сравнивать средние диаметры пузырьков (см. табл.2 столбец  $h = 10$  см), полученные в дисперсном анализе и рассчитанные по формуле (1), то они отличаются на 3,7%. Этот результат можно считать хорошим соответствием между экспериментально измеренными и теоретически рассчитанными величинами.

Гидродинамический режим всплывающего пузырька характеризуется отношением сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкого сопротивления среды и обычно выражается безразмерным критерием – числом Рейнольдса ( $Re$ )

$$Re = \frac{d \cdot U}{\nu}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость среды;  $U$  – скорость всплывания пузырька.

Для грубой оценки скорости пузырька радиусом  $\sim 3,0 \cdot 10^{-2}$  см можно использовать эмпирическую формулу [11]

$$U_s = 222,2 \cdot R, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус (см);  $U_s$  – скорость подъема пузырька в см/с.

Подставляя рассчитанную по уравнению (3) величину  $U_s$  вместо  $U$  в уравнении (2) и принимая, что вода имеет  $\nu = 1,0 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/с, получим для средних диаметров пузырьков (табл.2) величины  $Re > 1$ .

Найденные значения собственных чисел Рейнольдса пузырьков, генерируемых с помощью фильтра Шотта №4, делают невозможным применение закона Стокса (вязкое обтекание) для расчета скорости их всплывания. В таких случаях исследователи прибегают к формулам, авторемодельным относительно вязкости среды. В данной работе мы воспользовались подходом, который был применен Н.Н. Рудёвым [12] при исследовании коллективной скорости пузырьков в общем случае. В частности, автор цитируемой работы показал, что коллективную скорость пузырьков, размеры которых лежат в так называемой переходной области  $8,5 \cdot 10^{-3} - 7,1 \cdot 10^{-2}$  см, можно определять по уравнению

$$U = \frac{g}{12 \cdot \nu} \cdot (k_0 + k_1 \cdot d + k_2 \cdot d^2 + k_3 \cdot d^3), \quad (4)$$

где коэффициенты  $k_i$  рассчитывают по равенствам:

$$k_0 = d_1^2 \cdot \varphi_1 - k_1 \cdot d_1 - k_2 \cdot d_1^2 - k_3 \cdot d_1^3,$$

$$k_1 = 2 \cdot d_1 \cdot \varphi_1 - 2 \cdot k_2 \cdot d_1 - 3k_3 \cdot d_1^2,$$

$$k_2 = \frac{d_1 \cdot \varphi_1 - d_2 \cdot \varphi_2}{d_1 - d_2} - k_3 \cdot \frac{3 \cdot (d_1 + d_2)}{2},$$

$$k_3 = \frac{2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{(d_2 - d_1)^3},$$

здесь  $d_1 = 8,5 \cdot 10^{-3}$ ;  $d_2 = 7,1 \cdot 10^{-2}$ ;

$$\varphi_1 = 1 - \varphi^{1/3},$$

$$\varphi_2 = \frac{(1 - \varphi)^2}{3 \cdot (1 - \varphi^{5/3})},$$

$\varphi$  – объемная доля пузырьков воздуха в воде.

Согласно [2], величину  $\varphi$  можно определить по уравнению

$$\varphi = \frac{q}{U_0} = \frac{12 \cdot v \cdot q}{g \cdot d^2}, \quad (5)$$

где  $q$  – расход воздуха через фильтр Шотта №4;  
 $U_0$  – скорость единичного пузырька.

Анализ работ исследователей, изучающих физико-химические закономерности флотационной очистки воды, например [3 – 5], показал, что чаще всего на фильтр Шотта №4 экспериментаторы подают воздух расходом  $1,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ . Для выбранного таким образом интервала расходов воздуха, были рассчитаны по уравнению (5) величины  $\varphi$ , используя которые вычислили скорости коллективно всплывающих пузырьков ( $U$ ) по уравнению (4). Аналогичные расчеты провели для разной высоты слоя воды над пористой пластинкой, генерирующей пузырьки. Для расчетов по уравнениям (5) и (4) брали величины  $d$ , соответствующие средним диаметрам пузырьков, которые приведены в табл.2.

Проведенные расчеты показали, что скорость пузырька, всплывающего в окружении соседних пузырьков газожидкостной системы, примерно в три раза меньше скорости одиночного пузырька, всплывающего в режиме вязкого обтекания. Вычисленные по уравнению (4) скорости пузырьков близки к экспериментально определенным величинам, которые, согласно [2], на 30% ниже от рассчитанных для одиночных пузырьков с незаторможенной поверхностью, всплывающих в потенциальном режиме.

Далее, подставляя в уравнение (5) вместо  $U_0$  рассчитанные значения величин  $U$ , вычислили объемные доли пузырьков в исследуемой газожидкостной системе с учетом взаимного торможения пузырьков. На рис.2 представлены зависимости величины объемной доли пузырьков в дистиллированной воде от расхода воздуха, подаваемого на пористую пластину фильтра Шотта №4 при разной высоте слоя воды над генератором пузырьков.

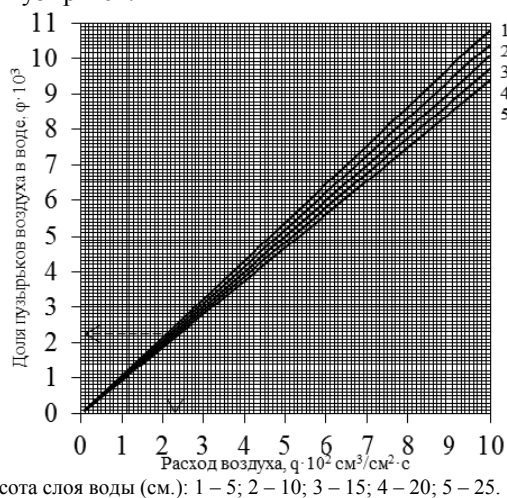


Рис.2 – Зависимость объемной доли коллективно всплывающих пузырьков в воде ( $\varphi$ ) от расхода воздуха ( $q$ ), подаваемого на

фильтр Шотта №4 при разной высоте слоя воды над генератором пузырьков.

Данные, приведенные на рис.2, позволяют путем простого расчета по выражению(6) определить коллективную скорость пузырьков, всплывающих при заданном расходе воздуха и высоте слоя воды над генератором пузырьков

$$U = \frac{q}{\varphi}. \quad (6)$$

Подставляя в уравнение (2) средний диаметр пузырьков, характерный для выбранной высоты слоя воды из табл. 2 (или определенный экспериментально), и полученную по уравнению (6) величину коллективной скорости пузырьков, можно найти число Рейнольдса, характеризующее гидродинамический режим пузырьков при заданном расходе воздуха и высоте слоя воды.

Например, для условий проведенных экспериментов (параметры указаны на рис.2 пунктирными линиями) получим:

$$U = \frac{2,2 \cdot 10^{-2} (\text{см}^3 / \text{см}^2 \cdot \text{с})}{2,3 \cdot 10^{-3}} = 9,6 \text{ см} / \text{с},$$

$$Re = \frac{6,12 \cdot 10^{-2} (\text{см}) \cdot 9,6 (\text{см} / \text{с})}{1,0 \cdot 10^{-2} (\text{см}^2 / \text{с})} = 58,8.$$

При подстановке в последнее выражение теоретической величины диаметра пузырька  $5,9 \cdot 10^{-2} \text{ см}$ , значение числа Рейнольдса составляет 56,6 и отличается не более чем на 4% от вычисленного по экспериментальным данным.

#### 4. ВЫВОДЫ

В заключении отметим, что калибровка пористых пластинок стеклянных фильтров (см. табл. 1), по предложенной в данной работе методике, позволит исследователям осознано планировать эксперимент, направленный на определение оптимальных гидродинамических характеристик газожидкостных систем в процессах водоочистки. Результаты исследований, приведенные в настоящей статье, могут быть использованы для изучения влияния закономерностей гидродинамического взаимодействия между пузырьками и частицами на эффективность процесса безреагентной флотационной очистки воды от взвешенных частиц малого размера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды: [монография] / Л.А. Кульский. – К.: Nauk. dumka. – 1991. – 568 с.
2. Микрофлотация: Водоочистка, обогащение: [моногр.] / [Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулёв Н.Н.]; под ред. Дерягина Б.В. – М.: Химия. – 1986. – 112 с.
3. Озерская В.В. Исследование процессов очистки хромсодержащих гальванических стоков комбинацией реагентного и флотационного методов / В.В. Озерская, И.С. Рыбалкина, Н.Л. Филипенко, В.А. Медведева // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т.11, №8(59), вып. 2. – С. 1385-1390.
4. Агеев М.А. Исследование взаимодействий частичек типографской краски с воздухом при флотационном обогащении макулатуры / М.А. Агеев, В.В. Свиридов, Н.Л. Медяник // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2005. – №4. – С. 125-135.
5. Сазонова В.Ф. Экспериментальное и теоретическое исследование концентрирования ионов поливалентных металлов макулатуры / В.Ф. Сазонова, М.Г. Бельдий, М.А. Кожемяк, О.В. Перлова // Вестник Одесского национального университета. – 2007. – Т.8, вып.3. – С. 41-66.
6. Карякин Ю.В. Чистые химические реактивы. Руководство к лабораторному приготовлению неорганических препаратов: [монография] / Ю.В. Карякин. – Л.: ОНТИ. – 1936. – 617 с.
7. Spargo P.E., Pinfold T.A. – *Separ. Sci.*, 1970, Vol 5, pp. 619-623.
8. Башкиров М.М. К вопросу о физико-химических условиях генерации пузырей / М.М. Башкиров // ЖПХ. – 1975. – №3. – С. 669-672.
9. Волков А.И. Большой химический справочник: [монография] / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Мн.: Современная школа, 2005. – 608 с.
10. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения: [монография] / В.К. Тихомиров. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
11. Okazaki S. *Bull. Chem. Soc. Jap.* 1964, Vol 37, no2, pp. 144-150.
12. Рулёв Н.Н. Коллективная скорость всплывания пузырьков / Н.Н. Рулёв // Колл. журн. – 1977. – Т.39, №1. – С. 80-85.
13. *Vodoочистka, obogashhenie* [Microflotation: Water purification, enrichment]. Moscow: Himija, 1986, 112 p.
14. Ozerskaja V.V., Rybalkina I.S., Filipenko N.L., Medvedeva V.A. Issledovanie processov oчитki hromsoderzhashhih gal'vanicheskikh stokov kombinaciej reagentnogo i flotacionnogo metodov [Study treatment processes chromium electroplating wastewater combination of reagent flotation methods]. *Vest. Dons. gos. univ.* – *Bulletin Don State Technical University*, 2011, Vol 11, no8(59), issue 2, pp. 1385,1390.
15. Ageev M.A., Sviridov V.V, Medjanik N.L. Issledovanie vzaimodejstvij chastichek ti-pografskoj kraski s vozduhom pri flotacionnom oblagorazhivanii makulatury [Investigation of Interactions ink particles with air in the flotation deinking]. *IVUZ «Lesnoj zhurnal» - IVUZ Timber journal*, 2005, no 4, pp. 125-135.
16. Sazonova V.F., Bel'dij M.G., Kozhemjak M.A., Perlova O.V. Jeksperimental'noe i teoreti-cheskoe issledovanie koncentrirovaniya ionov polivalentnyh metallov [Experimental and theoretical study of the concentration of polyvalent metal ions paper]. *Vest. Odess. nach. univ.. – Bulletin of Odessa National University*, 2007, vol 8, issue 3, pp. 41-66.
17. Karjakin Ju.V. *Chistye himicheskie reaktivy. Rukovodstvo k laboratornomu prigotovleniju neorganicheskikh preparatov.* [Clear chemicals. Guide to the laboratory preparation of inorganic products]. Leningrad: ONTI, 1936. 617 p.
18. Spargo P.E., Pinfold T.A. *Separ. Sci.*, 1970, vol 5, pp. 619-623.
19. Bashkirov M.M. K voprosu o fiziko-himicheskikh uslovijah generacii puzyrej [On the issue of physical and chemical conditions of the generation of the bubble]. *ZhPH – Journal of applied chemistry*, 1975, no 3, p. 669-672.
20. Volkov A.I., Zharskij I.M. *Bol'shoj himicheskij spravochnik.* [Large chemical reference]. Minsk: Sovremennaja shkola, 2005. 608 p.
21. Tihomirov V.K. *Peny. Teorija i praktika ih poluchenija i razrushenija.* [Foam. Theory and practice of their production and destruction]. Moscow: Himija, 1983, 264 p.
22. Okazaki S. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 1964, vol 37, no 2, pp. 144-150.
23. Rul'jov N.N. Kollektivnaja skorost' vsplyvanija puzyr'kov [Collective rate of rising bubbles]. *Koll. zhurn. – Colloid Journal*, 1977, vol 39, no 1, p. 80-85.

## REFERENCES

1. Kul'skij L.A. *Osnovy himii i tehnologii vody.* [Fundamentals of chemistry and water technology]. Kiev: Nauk. dumka, 1991. 568 p.
2. Derjagin B.V., Duhin S.S., Rul'jov N.N. *Mikroflotacija:*

## HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF GAS-LIQUID SYSTEMS FORMED BY DISPERSING THE AIR BY MEANS OF A GLASS FILTER SCHOTT №4

V.O. Ilyina, a student  
 V.V. Kostik, cand. scien.(chemical)  
 Y.G. Chernyakova, cand. scien.(phys. and math.)

Odessa State Environmental University,  
 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, sevaboydog@ukr.net

On the basis of experimental studies and theoretical curves selected, we developed a method that allows to determine the basic hydrodynamic characteristics of gas-liquid systems produced by forcing air through a

porous glass filter elements with an air flow of  $1.0 \cdot 10^{-3}$  -  $1.0 \cdot 10^{-1}$   $\text{sm}^3/(\text{sm}^2 \text{ s})$  and a different height of the water layer above the bubble generator. Analysis of variance system prepared with distilled water from the purified surfactant (surfactant), found that close to normal size distribution of the bubbles have a fairly wide range of equivalent diameter of 608 microns. Designed collective speed and flow regimes of air bubbles, pop in the transition region changes Reynolds numbers ( $1 < Re < 100$ ). The proposed method of estimating the hydrodynamic characteristics of gas-liquid systems will be useful in the study of physical and chemical laws of flotation extraction of particles using a surfactant, and the results are used to determine the hydrodynamic field bubble, the parameters of which often depends on the efficiency of the flotation nonchemical water purification from suspended particles.

**Keywords:** hydrodynamics, gas-liquid system, the collective rate of floating, the volume-fraction of bubbles.

**ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ,  
ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ДИСПЕРГУВАННЮ ПОВІТРЯ  
ЗА ДОПОМОГОЮ СКЛЯНОГО ФІЛЬТРА ШОТТА №4**

**В.О. Ільїна**, студ.

**В.В. Костик**, канд. хім. наук

**Ю.Г. Чернякова**, канд. фіз. – мат. наук

*Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, sevaboysdog@ukr.net*

На підставі експериментальних досліджень і підібраних теоретичних залежностей, розроблена методика, що дозволяє визначати основні гідродинамічні характеристики газорідинних систем, що утворюються шляхом продавлювання повітря через пористі елементи скляних фільтрів при витратах повітря  $1,0 \cdot 10^{-3}$  -  $1,0 \cdot 10^{-1}$   $\text{см}^3 / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$  та різній висоті шару води над генератором бульбашок.

**Ключові слова:** гідродинаміка, газорідинні системи, колективна швидкість спливання, об'ємна частка бульбашок.

*Дата першої подачі: 21.04.2015*

*Дата поступлення окончательной версии: 26.06.2015*

*Дата публикации статьи: 24.09.2015*