

УДК 628.16

О. І. Барибін

ОЦІНКА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНИ АЕРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ ПЛАВУЧИХ ОДНОФАЗНИХ СТРУМЕНІВ

Оцінена можливість використання моделей плавучих однофазних струменів для визначення геометричних характеристик зони аерації у разі використання струменевих аераторів. Результати порівняння розрахункових та отриманих автором експериментальних даних виявили, що геометричні характеристики зони аерації можна визначати, використовуючи моделі плавучих однофазних струменів, якщо початковий газоміст брати рівним 20 %.

Вступ

Одним з перспективних напрямків, які застосовуються в системах очищення стічних вод, є газорідинні струменеві технології. Вони представлені різними конструкціями пристроїв для аерації стічних вод — струменевими аераторами. Одним з основних параметрів процесу аерації є аерований обсяг [1], і, зокрема, його двовимірна характеристика — зона аерації. На сьогоднішній день не існує навіть оціночної методики з визначення цього параметра для вищевказаних пристроїв.

Очевидно, що форму і розміри зони аерації в очисному резервуарі визначає розвиток горизонтального газорідинного турбулентного струменя, оскільки він є єдиним джерелом енергії в системі. Однак достовірних досліджень таких течій на сьогоднішній день мало. Можливо, єдиним з наявних варіантів, який дозволяє описати газорідинні струмені, є залучення теорії плавучих однофазних струменів.

Таким чином, задача оцінки можливості використання моделей однофазних плавучих струменів для визначення геометричних характеристик двофазного газорідинного струменя і, відповідно, зони аерації є актуальною для підвищення ефективності використання струменевих аераторів в системах очищення стічних вод (аеротенках та флоатційних установках).

Обґрунтування результатів

На сьогоднішній день використовуються декілька типів моделей, що дозволяють описувати такі течії:

- 1) масштабні моделі, що базуються на аналізі розмірностей;
- 2) інтегральні моделі, які включають системи звичайних диференціальних рівнянь;
- 3) гібридні моделі, у яких аналіз розмірностей використовується, щоб визначити область течії, для якої вже застосовується відповідна інтегральна модель.

У роботі використовується гібридна модель, розроблена Кіккертом [2]. Ця модель добре узгоджується з відомими моделями і експериментальними даними (рис. 1). Таким чином, результати розрахунку цієї моделі можна вважати достовірними.

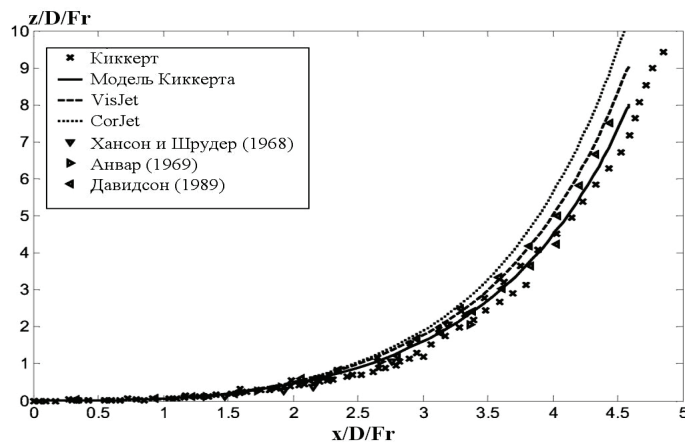


Рис. 1. Порівняння траєкторій горизонтального плавучого струменя в спокійній навколишній рідині [2]: лінії — результати моделювання; значки — результати експериментальних досліджень

Основним методом експериментальних досліджень двофазного струменя було обрано метод візуалізації. Візуалізація течії проводилася «світловим ножем» [3]. Відповідно до особливостей цього методу для проведення досліджень був створений наближений до натурного масштабу експериментальний стенд (рис. 2).

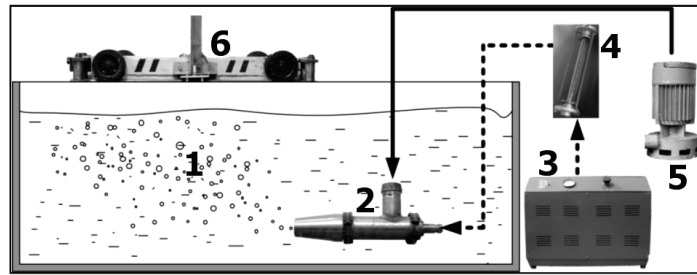


Рис. 2. Схема експериментального стенду: 1 — вікно з органічного скла; 2 — промисловий зразок аератора; 3 — компресорна установка УК40-2М; 4 — електронасос БЦ-1.1-18-У1.1; 5 — ротаметр РМ-2, 5ГУЗ; 6 — візок для установки координатного пристрою

Як основна геометрична характеристика течії для плавучих однофазних струменів використовується траєкторія осі струменя [4—6]. Однак масовий відрив бульбашок від верхньої межі струменя за високих (більше 10 %) значень газовмісту (рис. 3а) ускладнював її ідентифікацію і, відповідно, робив практично неможливим визначення траєкторії осі струменя. Таким чином, для більшої достовірності результатів в якості геометричної характеристики, за якою порівнювалися результати експерименту і розрахунку моделі, використовувалася нижня межа зони аерації.

Для визначення цієї межі створена автоматизована методика отримання кількісних даних, яка складається з таких кроків:

1. Виділення візуалізованої течії у порівнянні з фоном шляху бінарizzaції оригінального зображення (рис. 3б).
2. Визначення координат межі між фоном і течією на бінарizzaрованном зображенні (рис. 3в).
3. Осереднення отриманих меж (рис. 3г).
4. Масштабування результатів.

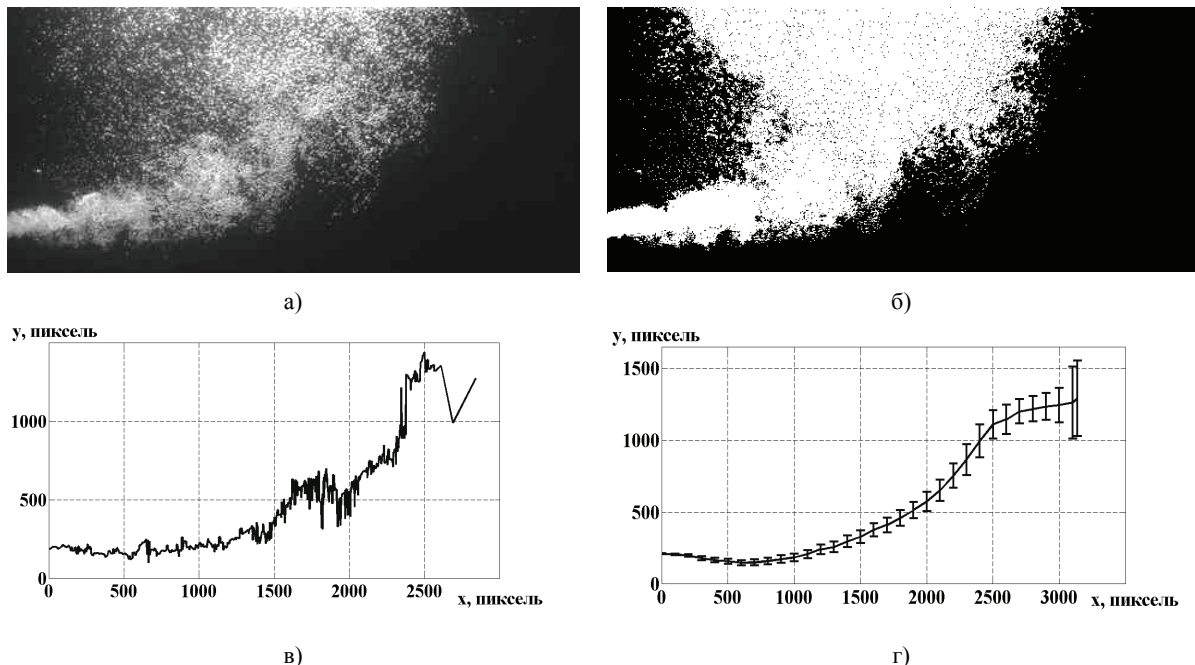


Рис. 3. Приклади отриманих зображень течії: а) необроблене зображення візуалізованого струменя; б) бінарizzaване зображення зони аерації; в) межа зони аерації в результаті обробки одного зображення; г) межа зони аерації в результаті обробки 80 зображень

На підставі можливостей контрольно-вимірювальної апаратури та обладнання для створення течії був запропонований план проведення однофакторного експерименту, в якому значення «ви-

трата води» залишається сталою $Q_{\text{вода}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, а витрата повітря обрана таким чином, щоб забезпечити значення початкового газовмісту $\varphi_0 = 5, 10, 20$ і 37% .

Основними початковими параметрами для розрахунку нижніх меж струменя, відповідно, моделі, що використовується, є діаметр сопла $D = 0,05 \text{ м}$, початкова швидкість струменя $V_0 = 1,09 \text{ м/с}$ та дефіцит густини $g'_0 = 0,49; 0,98; 1,96$ і $6,32 \text{ м}^2/\text{с}$, відповідно.

Порівняння експериментальних і розрахункових даних (рис. 4) показало, що межі близькі до збігу лише для режиму з $\varphi_0 = 20\%$, у той час як для інших режимів характерні досить суттєві розбіжності.

Можна відмітити також близьке розташування експериментальних точок для всіх режимів. Фактично розбіжність траєкторій нижньої межі двофазного струменя знаходиться близько до меж довірчого інтервалу.

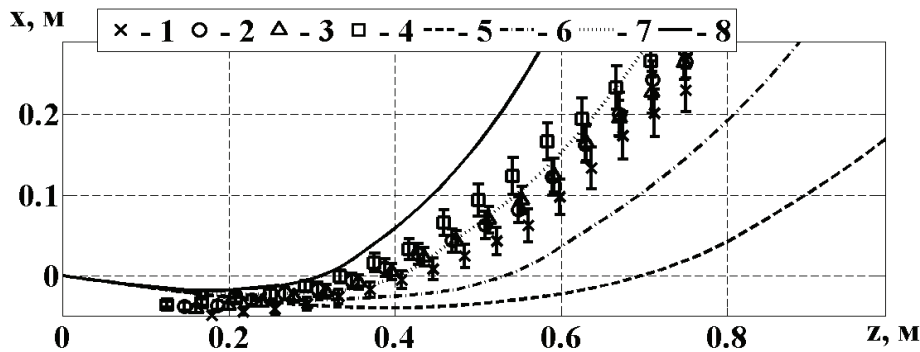


Рис. 4. Нижні межі зони аерації для режимів $\varphi_0 = 5; 10; 20; 37\%$:
(1—4) — експериментальні; (5—8) — розрахункові

Таку поведінку експериментальних даних можна пояснити дисперсною структурою двофазної течії. Зокрема, як показано в [7], дисперсність у двофазному струмені зі збільшенням газовмісту і незмінною витратою води змінюється несуттєво (у межах 5—10%). Відповідно нижні межі зони аерації для різних режимів практично збігаються.

Висновки

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що моделі, які застосовуються для розрахунку плавучих однофазних струменів, не можуть застосовуватися для розрахунку плавучих двофазних газорідних струменів з дисперсністю бульбашок 1—3 мм в широкому діапазоні значень початкового газовмісту φ_0 . Однак для високих значень газовмісту, які характерні для промислових струменевих аераторів, пропонується в першому наближенні проводити розрахунок геометричних параметрів двофазного струменя, і, відповідно, зони аерації за допомогою моделей плавучих однофазних струменів, приймаючи початковий газовміст рівним 20%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сивак В. М. Аэраторы для очистки природных и сточных вод / В. М. Сивак, Н. Е. Янушевский. — Львов : Вища школа, изд. Львов. ун-та, 1984. — 124 с.
2. Kikkert G. A. Buoyant jets with two and three-dimensional trajectories: PhD Thesis / Kikkert G. A. — 2006. — P. 353.
3. Барыбин А. И. Выбор источника света для создания светового «ножа» при визуализации пузырьковых течений с высокой плотностью пузырьков / А. И. Барыбин // Світло люкс. — 2010. — № 1. — С. 60—64.
4. Jirka G. H. Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part I: Single round jet / G. H. Jirka // Environmental Fluid Mechanics. — 2004. — № 4. — P. 1—56.
5. Lee J. H. W. Turbulent jets and plumes — a lagrangian approach / J. H. W. Lee, V. H. Chu. — Boston : Kluwer Academic Publishers, 2003. — 390 p.
6. Cheung V. Mixing of a round buoyant jet in a current: PhD Thesis / V. Cheung. — 1991. — P. 218.
7. Барыбин А. И. Экспериментальное исследование дисперсности пузырьков при использовании пневматического струйного аэратора / А. И. Барыбин // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. — 2012. — № 2(15). — С. 195—199.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки

Стаття надійшла до редакції 9.10.2013
Рекомендована до друку 16.10.2013

Барыбин Олексій Ігорович — молодший науковий співробітник.

Кафедра фізики нерівноважних процесів, метрології та екології, Донецький національний університет, Донецьк