

ДВИЖЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА В ЗАТОПЛЕННОЙ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СТРУЕ, УДАРЯЮЩЕЙ В ПЛОСКИЙ ЭКРАН

Движение газожидкостной смеси в узле распределения рабочей жидкости представляет собой затопленную турбулентную осесимметричную струю воды, содержащую пузырьки газа (воздуха), ударяющую под углом 90° в плоский экран. Данная задача рассматривалась в [1,2] применительно к турбулентной осесимметричной струе несжимаемой жидкости, распространяющейся в неподвижной среде с теми же физическими свойствами и соударяющейся с плоской поверхностью. Чтобы применять имеющиеся в указанных работах выводы и зависимости, необходимо сформулировать ряд важных условий и допущений:

1. Средний размер пузырьков газа много меньше характерных расстояний, на которых изменяются макроскопические или осредненные параметры системы. Это дает возможность исследовать поведение одиночных пузырьков в сплошной среде (воде);

2. Средний размер пузырьков газа меньше ширины струи;

3. Групповая (коллективная) скорость всплывания пузырьков относительно жидкости много меньше средней скорости движения жидкости в поперечном сечении газожидкостной струи на начальном участке;

4. Турбулентные пульсации скорости движения пузырька во всех направлениях уравновешивают друг друга, поэтому их влияние не учитывается;

5. Относительное газосодержание в струе (по объему) не превышает 5%, что не существенно влияет на профили продольной скорости в струе, на интенсивность расширения струи и позволяет применять расчетные зависимости, указанные в [1,2].

Скорость одиночного пузырька (U_0) диаметром 2-5 мм, всплывающего в турбулентном режиме, определяется по формуле [3]

$$U_0 = \sqrt{\frac{\sigma}{R \cdot (\rho_c - \rho_g)} + g \cdot R \cdot \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_c}\right)}, \quad (1)$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела вода-воздух, $H/м^2$; R - радиус пузырька, $м$; g - ускорение свободного падения, $м/с^2$; $\rho_{жс}$ - плотность жидкости (воды), $кг/м^3$; ρ_g - плотность воздуха, $кг/м^3$.

Важнейшим фактором, оказывающим влияние на групповую скорость всплывания пузырьков воздуха в жидкости является объемное газосодержание (ϕ), численно равное объему газа, содержащегося в единице объема газожидкостной смеси.

Групповая скорость всплывания пузырьков (U) в общем виде может быть представлена в виде

$$U = U_0 \cdot F(\phi),$$

(2)

где U_0 - скорость всплывания одиночного пузырька; $F(\phi)$ - функция, отражающая взаимное торможение пузырьков при их совместном всплывании.

Для пузырьков диаметром 2-5 мм, всплывающих в турбулентном режиме, допускается определять $F(\phi)$ по формуле [4]

$$F(\phi) = (1 - \phi)^{n-1}, \quad (3)$$

где n - показатель степени, равный 1,5-2.

Схематически течение жидкости в рассматриваемом случае можно разбить на три области (рисунок 1): свободную струю, зону разворота и струю, стелющуюся по поверхности экрана.

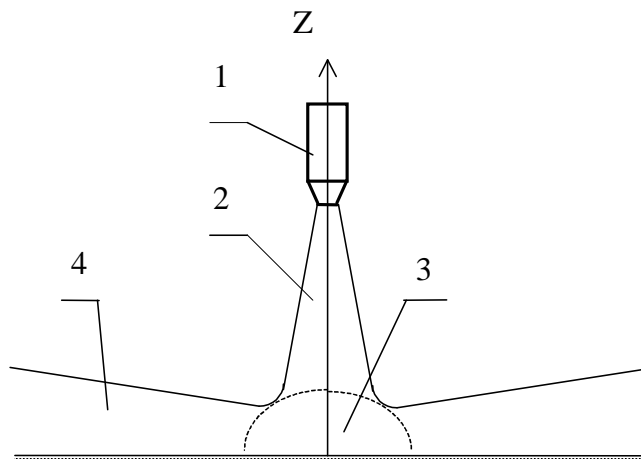


Рисунок 1. Схема затопленной струи, ударяющей в плоскую поверхность: 1- сопло; 2- свободная струя; 3- зона разворота; 4- струя стелющаяся по экрану.

Основные параметры свободной струи зависят от геометрических размеров системы: радиуса сопла (R_0) и расстояния от среза сопла до поверхности экрана (H). Соударение струи с экраном может происходить на начальном участке ($l_0 = H/R_0 \leq 12$) и на основном участке свободной струи ($l_0 > 12$). При этом отношение высоты зоны разворота (b^*) к радиусу сопла (R_0), согласно [2], составляет

$$\frac{b^*}{R_0} = \begin{cases} 0,78 \cdot (1 + K_1 \cdot l_0)^2 / (1 + K_2 \cdot l_0), & \text{если } l_0 \leq 12, \\ 0,78 \cdot K_3 \cdot l_0 / K_4, & \text{если } l_0 > 12, \end{cases} \quad (4)$$

где $K_1 = 0,072$, $K_2 = 0,14$, $K_3 = 0,155$, $K_4 = 0,22$ - коэффициенты, характеризующие соотношения различных параметров в свободной струе перед зоной разворота [2].

Отношение максимальной скорости (V^*) на оси свободной струи перед зоной разворота к скорости на выходе из сопла (V_0) выражается величиной (O_S) определяется по формуле [2]

$$O_S = \frac{V^*}{V_0} = \begin{cases} 1,42 / (1 + K_1 \cdot l_0), & \text{если } l_0 \leq 12, \\ 1,42 / K_3 \cdot l_0, & \text{если } l_0 > 12. \end{cases} \quad (5)$$

Радиус зоны разворота (r^*), который принят равным ради-

усу свободной струи в этом сечении, согласно [2], можно определить по формуле

$$r^* = \frac{1,573 \cdot R_0^2}{b^* \cdot O_s} \quad (6)$$

Перейдем к анализу изменения характеристик струи после зоны разворота. При распространении турбулентной затопленной радиально-всерединной струи вдоль поверхности экрана ее толщина (b) возрастает прямолинейно и подчиняется зависимости

$$b = b^* + C \cdot (r - r^*) \quad (7)$$

где C - коэффициент, характеризующий интенсивность расширения струи, равный 0,16 по данным [1,2]; r - радиус радиально-всерединной струи в рассматриваемой точке на поверхности экрана, м.

Одновременно с увеличением толщины струи растет турбулентный пограничный слой вблизи поверхности экрана, толщина которого (δ) составляет приблизительно 7,1% от толщины струи (b) [1]. Профиль скорости в поперечном сечении пограничного слоя описывается формулой [1]

$$V_p = V_m \cdot (z/\delta)^{0,1}, \quad \text{при } z \leq \delta \quad (8)$$

где V_p - скорость в точке с координатой (z) в пограничном слое; z - расстояние от поверхности экрана до рассматриваемой точки; V_m - максимальная скорость в том же сечении струи; δ - толщина пограничного слоя в указанном сечении струи.

Профиль скорости в поперечном сечении струи над пограничным слоем хорошо описывается формулой Шлихтинга [1]

$$V = V_m \cdot (1 - \xi^{1,5})^2, \quad \text{при } z \geq \delta \quad (9)$$

где V - скорость в точке с координатой (z) над пограничным слоем; V_m - максимальная скорость в том же сечении струи; ξ - безразмерная ордината точки над пограничным слоем, определяемая по формуле

$$\xi = \frac{z - \delta}{b - \delta} \quad (10)$$

Максимальная скорость жидкости в пристеночной радиально-всерединной струе в отсутствие пузырьков (V_m) определяется по формуле, приведенной в [1]

$$V_m = \frac{3,22 \cdot V_0}{\sqrt{\frac{r}{R_0} \left(\frac{r}{R_0} + 0,288 \cdot l_0 \right)}}, \quad (11)$$

где V_0 - скорость жидкости на выходе из сопла.

Расширение затопленной турбулентной струи происходит благодаря втеканию в нее жидкости из окружающей среды. Направление линий тока в случае плоской струи, особенно на основном ее участке, близко к перпендикулярному по отношению к основному направлению течения в струе [1].

Скорость втекания жидкости в струю (U_1) определяется, согласно [5], по формуле

$$U_1 = K \cdot C \cdot V_m, \quad (12)$$

где C - коэффициент, характеризующий интенсивность расширения течения, равный 0,16 для границы струи и 0,01136 для пограничного слоя [1,2], последний обозначим C_p ; K - коэффициент, определяемый по формуле

$$K = \int_0^1 \frac{V}{V_m} \xi \, d\xi, \quad (13)$$

где ξ - безразмерная ордината точки, равная (z/δ) для пограничного слоя (обозначим ее ξ_p), и определяемая по формуле (10) в случае ее нахождения над пограничным слоем.

Используя формулы (8) и (9), можно получить выражения для определения коэффициента (K) в двух указанных случаях. Коэффициент (K) для пограничного слоя обозначим как (K_p). Выражения для определения указанных коэффициентов представляют собой определенные интегралы следующего вида:

для пограничного слоя -

$$K_p = \int_0^1 \xi_p^{0,1} \cdot \xi_p \, d\xi_p = 0,476; \quad (14)$$

для течения в струе над пограничным слоем -

$$K = \int_0^1 (1 - \xi^{1,5})^2 \cdot \xi \, d\xi = 0,129. \quad (15)$$

Таким образом, скорость втекания жидкости в пограничный слой (U_p) запишется в виде

$$U_p = K_p \cdot C_p \cdot V_m = 0,476 \cdot 0,01136 \cdot V_m = 0,00541 \cdot V_m. \quad (16)$$

Скорость втекания жидкости в струю (U_1) определяется по формуле

$$U_1 = K \cdot C \cdot V_m = 0,129 \cdot 0,16 \cdot V_m = 0,02064 \cdot V_m. \quad (17)$$

Все указанные выше соотношения для определения скоростей относятся к движению турбулентной струи несжимаемой жидкости, распространяющейся в неподвижной среде с теми же физическими свойствами, т.е. в отсутствие пузырьков газа. Согласно [6], средняя скорость движения совокупности пузырьков газа в жидкости (V_b) определяется по формуле

$$V_b = 3 \cdot V \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi), \quad (18)$$

где V - скорость жидкости в системе в отсутствие пузырьков газа; φ - объемное газосодержание.

Таким образом, скорость движения совокупности пузырьков под влиянием втекания жидкости в пограничный слой (U_{pg}) запишется в виде

$$U_{pg} = 3 \cdot U_p \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi). \quad (19)$$

Скорость движения совокупности пузырьков (U_{lg}) под влиянием втекания жидкости в струю в рассматриваемом случае может определяться по формуле

$$U_{lg} = 3 \cdot U_1 \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi). \quad (20)$$

Формула для расчета скорости подъема совокупности пузырьков воздуха запишется следующим образом: для пограничного слоя -

$$U_{bp} = U - U_{pg}, \quad (21)$$

для течения в струе над пограничным слоем -

$$U_b = U - U_{lg}. \quad (22)$$

Радиус факела всплывающих газовых пузырьков определяется максимальным расстоянием по горизонтали, которое может пройти всплывающий пузырек воздуха, прежде чем он достигнет границы пристеночной радиально-всерединной струи

(рисунок 2). После этого пузырек начинает двигаться вертикально. Очевидным является то, что максимальное расстояние по горизонтали пройдет пузырек, оказавшийся после зоны разворота как можно ближе к поверхности экрана (отбойно-распределительного щита). Центр такого пузырька будет

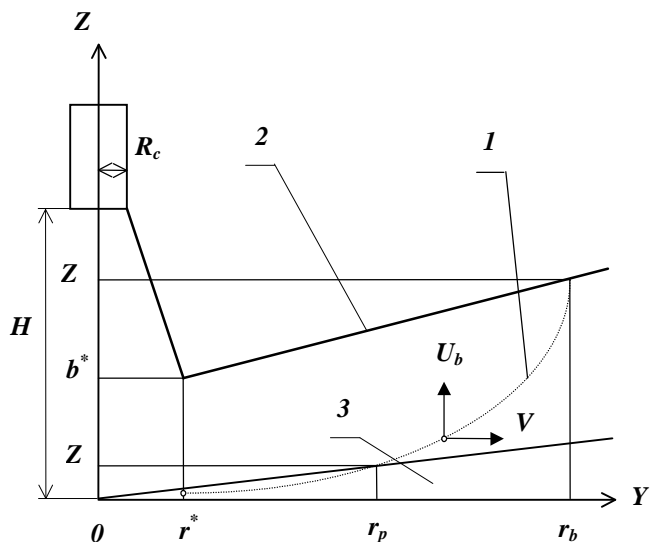


Рисунок 2. Траектория движения пузырька воздуха в пристеночной радиально-всвертной газожидкостной струе: 1- траектория движения пузырька; 2- граница струи; 3- пограничный слой.

находиться на расстоянии, равном его радиусу R_c от поверхности экрана, а сам пузырек в начальный момент времени будет как бы катиться по этой поверхности. Рассматривая подробно движение такого пузырька, можно определить координаты точки пересечения его траектории с границей струи. Горизонтальная координата этой точки будет равна радиусу факела всплывающих пузырьков воздуха.

Движение любого пузырька на бесконечно малом отрезке его траектории может быть описано системой, состоящей из двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} dy = (V + dV)dt \\ dz = (U_b + dU_b)dt \end{cases}, \quad (23)$$

где y - горизонтальная координата, численно равная радиусу (r) радиально-всвертной струи в рассматриваемой точке на поверхности экрана; z - вертикальная координата, равная высоте пузырька над поверхностью экрана; V, U_b - соответственно, горизонтальная и вертикальная составляющие скорости; t - время.

Чтобы исключить временной фактор, система дифференциальных уравнений (23) может быть преобразована в одно дифференциальное уравнение

$$\frac{dy}{dz} = \frac{V + dV}{U_b + dU_b}. \quad (24)$$

Так как горизонтальная и вертикальная составляющие скорости пузырька при выходе из пограничного слоя начинают изменяться в соответствии с другими закономерностями, целесообразно траекторию пузырька разбить на участки.

Траекторию движения пузырька, оказавшегося после зоны разворота в точке с горизонтальной координатой, равной (r^*), и вертикальной координатой, равной его радиусу (R_c), можно разбить на два участка. Первый участок траектории описывает движение пузырька от начальной точки до выхода из пограничного слоя. Второй - движение после выхода из погра-

ничного слоя и до границы струи. Рассмотрим подробно движение пузырька воздуха на обоих участках.

Расчет основных параметров газожидкостных пристеночных радиально-всвертных струй, которые были получены в результате эксперимента, показал, что в целом ряде опытов толщина пограничного слоя является сопоставимой с радиусом пузырьков. В таких случаях пузырек всплывает в сложном поле горизонтальных скоростей жидкости, расчет которого является затруднительным. Было принято решение отказаться от учета собственных размеров пузырька воздуха и рассмотреть его траекторию как движение материальной точки, начинающееся от начальной точки с горизонтальной координатой $y=r^*$, и вертикальной координатой $z=0$.

Для пограничного слоя дифференциальное уравнение движения пузырька запишется следующим образом

$$\frac{dy}{dz} = \frac{V_p + dV_p}{U_{bp} + dU_{bp}}. \quad (25)$$

где V_p, U_{bp} - соответственно, горизонтальная и вертикальная составляющие скорости пузырька в пограничном слое.

В формуле (25) наибольшие затруднения вызывает численное интегрирование числителя в правой части уравнения, так как горизонтальная составляющая скорости зависит от двух переменных, взаимозависимость которых заранее неизвестна. В связи с этим было сделано допущение, что результат движения пузырька в меняющемся по вертикали поле скоростей будет тем же, как если бы он двигался со скоростью, которая является средней по отношению к профилю скорости в поперечном сечении пограничного слоя струи. Величина средней скорости жидкости (V_{cp}) в поперечном сечении пограничного слоя при отсутствии газовой фазы может быть определена по формуле

$$V_{cp} = \frac{V_m}{1-0} \int_0^1 \xi_p^{0,1} d\xi_p = 0,9091 \cdot V_m. \quad (26)$$

Для определения средней скорости движения пузырьков V_{bp} в пограничном слое используем формулу (19). Соответствующее выражение примет следующий вид

$$V_{bp} = 2,727 \cdot V_m \cdot (1-1,85 \cdot \varphi). \quad (27)$$

Дальнейшее интегрирование по соответствующим граничным условиям уравнения (25) позволяет получить пригодное для практических расчетов выражение

$$\frac{r_p - r^*}{z_p} = \frac{2,727 \cdot V_{mрр} \cdot (1-1,85 \cdot \varphi)}{U_{brp}}, \quad (28)$$

где r_p - радиус пристеночной струи, соответствующий горизонтальной координате точки выхода пузырька из пограничного слоя; z_p - вертикальная координата точки выхода пузырька из пограничного слоя; $V_{mрр}$ - максимальная скорость жидкости в струе в точке выхода пузырька из пограничного слоя; U_{brp} - скорость подъема совокупности пузырьков в указанной точке.

Как уже отмечалось ранее, толщина пограничного слоя (δ) вблизи поверхности экрана составляет приблизительно 7,1% от толщины струи (b) [1]. Таким образом, для координат точки выхода пузырька из пограничного слоя (z_p) будет справедливым будет выражение

$$z_p = 0,071 \cdot (b^* + C \cdot (r_p - r^*)). \quad (29)$$

Для замыкания системы уравнений воспользуемся также формулами (11), (16), (19) и (21). Окончательно система урав-

нений для расчета координат точки выхода пузырька из пограничного слоя примет следующий вид

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{r_p - r^*}{z_p} &= \frac{2,727 \cdot V_{mrp} \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi)}{U_{brp}} \\ z_p &= 0,071 \cdot (b^* + C \cdot (r_p - r^*)) \\ V_{mrp} &= \frac{3,22 \cdot V_0}{\sqrt{\frac{r_p}{R_0} \left(\frac{r_p}{R_0} + 0,288 \cdot l_0 \right)}} \\ U_p &= 0,00541 \cdot V_{mrp} \\ U_{brp} &= U - 3 \cdot U_p \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi) \end{aligned} \right. \quad (30)$$

Для основного участка пристеночной струи дифференциальное уравнение движения пузырька запишется следующим образом

$$\frac{dy}{dz} = \frac{V + dV}{U_b + dU_b} \quad (31)$$

Аналогично предыдущему случаю, величина средней скорости жидкости (V_c) в поперечном сечении струи над пограничным слоем при отсутствии газовой фазы может быть определена по формуле

$$V_c = \frac{V_m}{1 - \theta} \int_0^1 (1 - \xi^{1,5})^2 d\xi = 0,45 \cdot V_m \quad (32)$$

Для определения средней скорости движения пузырьков (V_b) в струе над пограничным слоем используем формулу (19). Соответствующее выражение примет следующий вид

$$V_b = 1,35 \cdot V_m \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi) \quad (33)$$

Дальнейшее интегрирование по соответствующим граничным условиям уравнения (25) позволяет получить пригодное для практических расчетов выражение

$$\frac{r_b - r_p}{z_b - z_p} = \frac{1,35 \cdot V_{mr} \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi)}{U_{br}} \quad (34)$$

где r_b - радиус пристеночной струи, соответствующий горизонтальной координате точки пересечения траектории пузырька и границы струи; z_b - вертикальная координата точки пересечения траектории пузырька и границы струи; V_{mr} - максимальная скорость жидкости в поперечном сечении струи, соответствующем точке пересечения траектории пузырька и границы струи; U_{br} - скорость подъема совокупности пузырьков в указанной точке.

Для замыкания системы уравнений воспользуемся также формулами (7), (11), (17), (20) и (22). Окончательно система уравнений для расчета координат точки пересечения траектории пузырька и границы струи примет следующий вид

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{r_b - r_p}{z_b - z_p} &= \frac{1,35 \cdot V_{mr} \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi)}{U_{br}} \\ z_b &= b^* + C \cdot (r_b - r^*) \\ V_{mr} &= \frac{3,22 \cdot V_0}{\sqrt{\frac{r_b}{R_0} \left(\frac{r_b}{R_0} + 0,288 \cdot l_0 \right)}} \\ U_{lr} &= 0,02064 \cdot V_{mr} \\ U_{br} &= U - 3 \cdot U_{lr} \cdot (1 - 1,85 \cdot \varphi) \end{aligned} \right. \quad (35)$$

Групповая скорость всплывания пузырьков (U), входящая

Таблица 1

Экспериментальные данные и полученный в результате расчета радиус образующейся области всплывающих газовых пузырьков

| Расстояние от среза сопла до щита H , мм | Расход воды Q , dm^3/c | Расход воздуха q , dm^3/c | Объемное газосодержание φ | Скорость жидкости на срезе сопла* V_0 , м/с | Радиус вылета пузырьков (эксперимент) r_p , мм | Рассчитанный радиус вылета пузырьков r_b , мм | Ошибка интерполяции $\frac{r_b - r_p}{r_b} \cdot 100$, % |
|---|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|
| 80 | 0,344 | 0,018 | 0,049 | 2,40 | 80 | 81,0 | 1,20 |
| | 0,424 | 0,020 | 0,046 | 2,96 | 100 | 95,6 | -4,70 |
| | 0,620 | 0,029 | 0,045 | 4,33 | 140 | 130,7 | -7,09 |
| | 0,886 | 0,043 | 0,046 | 6,19 | 180 | 178,1 | -1,08 |
| | 1,162 | 0,057 | 0,047 | 8,12 | 230 | 227,1 | -1,29 |
| 60 | 0,321 | 0,015 | 0,046 | 2,24 | 70 | 76,8 | 8,90 |
| | 0,507 | 0,025 | 0,047 | 3,54 | 110 | 110,5 | 0,50 |
| | 0,716 | 0,035 | 0,046 | 5,00 | 160 | 148,3 | -7,86 |
| | 0,930 | 0,047 | 0,048 | 6,50 | 180 | 186,5 | 3,49 |
| | 1,119 | 0,055 | 0,047 | 7,82 | 230 | 220,3 | -4,30 |
| 40 | 0,488 | 0,025 | 0,048 | 3,41 | 100 | 107,8 | 7,23 |
| | 0,664 | 0,032 | 0,046 | 4,64 | 150 | 140,1 | -7,04 |
| | 0,756 | 0,037 | 0,047 | 5,42 | 160 | 160,2 | 0,13 |
| | 0,902 | 0,044 | 0,047 | 6,30 | 180 | 183,0 | 1,62 |
| | 1,191 | 0,063 | 0,050 | 8,32 | 230 | 234,2 | 1,80 |
| 20 | 0,501 | 0,026 | 0,049 | 3,50 | 100 | 111,5 | 10,3 |
| | 0,812 | 0,043 | 0,050 | 5,69 | 160 | 168,6 | 5,10 |
| | 0,909 | 0,046 | 0,048 | 6,35 | 180 | 186,2 | 3,30 |
| | 1,178 | 0,058 | 0,047 | 8,23 | 230 | 235,0 | 2,15 |
| | 10 | 0,404 | 0,020 | 0,048 | 2,82 | 100 | 94,6 |
| 0,664 | | 0,033 | 0,047 | 4,64 | 140 | 143,0 | 2,13 |
| 0,902 | | 0,046 | 0,049 | 6,30 | 180 | 186,1 | 3,27 |
| 1,178 | | 0,061 | 0,049 | 8,23 | 230 | 236,1 | 2,57 |

*Примечание: Скорость жидкости на срезе сопла рассчитана так, как если бы пузырьки воздуха в ней отсутствовали.

в системы уравнений (30) и (35), определялась по формуле (2). Скорость всплывания одиночного пузырька рассчитывалась по формуле (1), функция $F(\varphi)$ - по формуле (3).

Последовательное решение систем уравнений (30) и (35) позволяет рассчитать координаты точки пересечения траектории движения пузырька воздуха и границы струи. Значение горизонтальной координаты (r_b) будет равно радиусу образующегося факела всплывающих пузырьков воздуха, возникающего при работе узла распределения рабочей жидкости, состоящего из сопла и отбойно-распределительного щита. Численное решение систем уравнений (30) и (35) является достаточно трудным. Для облегчения вычислений расчет был организован в математической программе Mathcad 2.0 на ЭВМ.

Опытные данные были получены в ходе лабораторных исследований газожидкостных струй, содержащих пузырьки воздуха диаметром 2-3 мм. Температура воды во время опытов составляла 15,6°C, температура воздуха - 17°C. Радиус сопла - $R_0=6,75$ мм. Радиус пузырьков, принятый для расчетов $R=1,5$ мм. Экспериментальные данные и полученный в результате расчета радиус образующейся области всплывающих газовых пузырьков приведены в таблице 1.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, рассчитанный путем последовательного решения систем уравнений (30) и (35) радиус вылета пузырьков воздуха удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными. Ошибка интерполяции лишь один раз превысила 10%, что является вполне удовлетворительным для инженерных расчетов, с учетом погрешностей измерений и принятых допущений.

УДК 574

Строкач П.П., Василевская Е.И., Халецкий В.А.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Начиная с 50-х годов, идеи охраны природы начинают привлекать к себе все большее внимание. Деградация среды обитания, ранее заметная только специалистам, стала очевидной для всех. Вместе с этим пришло и понимание необходимости отражения экологических проблем в системе образования. В 1975 году в Белграде (Югославия) под эгидой ЮНЕСКО был проведен первый всемирный семинар по образованию в области окружающей среды. По его результатам была принята Белградская хартия, декларирующая цели химического образования [1]: а) **осознание** проблемы окружающей среды; б) **знание** основы понимания окружающей среды, связанных с ней проблем; в) **отношение** отдельных лиц и групп людей к социальному значению окружающей среды; г) **навыки** в решении проблем окружающей среды; д) **способность давать оценку** мерам, принимаемым в отношении окружающей среды и программам образования в этой области с точек зрения экологии, политики, экономики, интересов общества; е) **участие** отдельных лиц и группам людей в решении проблем окружающей среды с тем, чтобы обеспечить принятие соответствующих мер для их решения.

Во второй половине 90-х годов с углублением глобально-экологического кризиса стало ясно, что экологизация образования рассматривается даже не как важная часть современ-

Таким образом, приведенный алгоритм расчета может быть рекомендован для вычисления радиуса вылета газовых пузырьков при проектировании узла распределения рабочей жидкости, состоящего из сопла и отбойно-распределительного щита, а также других устройств, использующих принцип удара вертикальной затопленной газожидкостной струи о плоскую преграду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория турбулентных струй/ Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю. и др. Изд. 2-е, перераб. и доп.// Под ред. Г.Н. Абрамовича.- М.: Наука, 1984.- 716 с.
2. Секундов А.Н., Яковлевский О.В. Исследование взаимодействия струи с близко расположенными экранами./ Изв. АН СССР, Механика и машиностроение, 1964, N1.- с.104-114.
3. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем.- М.: Энергия, 1976.- 296 с.
4. Пенная сепарация и колонная флотация / Ю.Б. Рубинштейн, В.И.Мелик-Гайказян, Н.В.Матвеевко, С.Б.Леонов.- М.: Недра, 1989.- 304 с.
5. Абрамович Г.Н., Крашенинников С.Ю. Секундов А.Н. Турбулентные течения при воздействии объемных сил и неавтономности.- М.: Машиностроение, 1975.- 96 с.
6. Протождяконов И.О., Люблинская И.Е. Гидродинамика и массообмен в системах газ-жидкость.- Л.: Наука, 1990.- 349.

ного образовательного процесса, а как его смысл и цель. Таким образом, после всеобщего осознания важности и обязательности природоохранной компоненты в образовании, на первый план выходят технические проблемы, связанные с содержанием экологических курсов и методикой их преподавания.

Согласно [2] современное экологическое образование должно строиться на следующих принципах:

- принцип преемственности и вовлеченности (экологическое образование на протяжении всей жизни);
- принцип системности (структурирование знаний о природе, о взаимосвязях общества с окружающим миром);
- принцип целостности (формирование личности с высоким потенциалом экологической культуры);
- принцип комплексности (единство процессов обучения и воспитания);
- принцип междисциплинарности (решение экологических проблем при помощи интеграции наук);
- принцип краеведения (непосредственное изучение проблем окружающей среды на конкретных природных объектах).

Можно выделить три основных направления экологического образования, базирующихся на вышеперечисленных принципах: 1) преподавание экологии, как отдельной дисципли-

Строкач Петр Павлович. Профессор, к. т. н., заведующий каф. инженерной экологии и химии.

Халецкий Виталий Анатольевич. Ассистент каф. инженерной экологии и химии.

Брестский политехнический институт (БПИ) Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.

Василевская Елена Ивановна. Кандидат химических наук, доцент каф. неорганической химии.

Белорусский государственный университет (БГУ) Беларусь, г. Минск-50, ул. Ленинградская, 14