

Мощность потока воды, проходящего через сопло,

$$N_c = \rho_B g Q_c H_c = 8,83 \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя рабочего насоса (без учета потерь энергии в подводящих трубах)

$$N = N_c / \eta_n = 8,83 : 0,7 = 12,61 \text{ кВт,}$$

где  $\eta_n$  – КПД рабочего насоса.

$$\begin{aligned} \text{Максимальная длина перекачиваемой рыбы } l &= 1,8 d_B = 1,8 \cdot 0,142 \approx 0,28 \text{ м; } b = \\ &= 0,8 d_B \approx 0,8 \cdot 0,142 = 0,11 \text{ м.} \end{aligned}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. – М., 1960. – 321 с. 2. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. – М., 1970. – 415 с. 3. Гриб В.К., Морев А.Н. Комплексная механизация прудового рыбоводства. – М., 1973. – 309 с. 4. Терентьев А.В., Миллер Б.Н., Чернигин Н.Ф. Гидравлическая механизация в рыбной промышленности. – М., 1956. – 300 с. 5. Минкин Ю.В., Мускевич Г.Е. Выживаемость молоди рыб в эжекторных рыбоподъемниках // Рыбное хозяйство. – 1982. – № 9. – С. 28–30. 6. Докукин М.М., Муравенко Т.А. Струйный аксиальный насос // Рыбное хозяйство. – 1985. – № 9. – С. 65–66. 7. Мускевич Г.Е., Минкин Ю.В. К выбору оптимальных размеров и формы кольцевого сопла гидроэлеваторов – рыбоподъемников в рыбозащитных комплексах водозаборных сооружений // Вопросы повышения эффективности существующих оросительных систем. – Новочеркасск, 1981. – Вып. 14. – С. 28–32. 8. Мустафин Х.Т. Расчет эжектора на воде и гидросмеси // Нерудные строительные материалы. – Тольятти, 1968. – Вып. 24. – С. 16–20.

УДК 532.526

И.В. ПОВОРОТНЫЙ, Д.А. ПРОКОПЧУК

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЯ ЧАСТИЧНО ОГРАНИЧЕННЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ

Несмотря на практическое применение частично ограниченных турбулентных затопленных струй, формируемых осесимметричным источником в струйных завесных системах, закономерности их распространения являются тем не менее малоизученными как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах.

Среди немногочисленных публикаций по данному вопросу наиболее актуальной по полученным результатам является работа [1], в которой были исследованы параметры течения частично ограниченных затопленных струй в диапазоне отстояния струеформирующего источника от плоской стенки  $h = (0 - 3,5) d$  на расстояниях  $X \approx 60$  калибров.

Однако практическое приложение таких типов течения требует знания закономерностей их развития на более значительном удалении от источника истечения порядка  $X = (200 - 400) d$  и при больших величинах отстояния  $- h$ .

В работах [ 4, 5] представлены результаты исследования пристенных и частично ограниченных струйных течений в диапазоне  $h = (0...12,5)d$ . Приведенные данные позволили судить о закономерностях развития таких типов течения в плоскости  $X$  при различных значениях чисел Рейнольдса и выходного диаметра струеформирующего устройства. Для полного представления о характере развития частично ограниченных струйных течений необходимо иметь экспериментальные данные их распространения по всем трем координатам  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Цель настоящей работы — исследование характеристик течения частично ограниченных струй в пространстве. При этом ставилась задача получения результатов на расстоянии от источника  $X > 100$  калибров в значительном диапазоне изменения величины отстояния источника от поверхности —  $h$ .

Исследования затопленных частично ограниченных струй производились на специальном гидродинамическом стенде для изучения струйных течений, конструкция и параметры которого достаточно полно изложены в работе [3]. В ней же описана и применявшаяся в экспериментах электрохимическая методика измерения полей скорости струйных потоков. Струеформирующими источниками истечения являются конически сходящиеся насадки с углом конусности  $\alpha = 14^\circ$ , отношением  $l/d = 4$  и выходными диаметрами  $d = 1; 2; 3,5$  и  $4,5$  мм. Истечение струй обеспечивалось в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re = (0,3-10)10^4$  при  $h = (0...12,5)d$ .

Для выявления тенденций развития истекающих частично ограниченных затопленных струй проведена их визуализация и фотографирование. Эксперименты по визуализации проходили в рамках гидродинамического стенда с подачей в качестве истекающей жидкости раствора красителя, которым являлся насыщенный водный раствор марганцевокислого калия ( $KMnO_4$ ). Фотографирование производилось для струй, истекающих из насадков с диаметрами выходного отверстия  $d = 1$  и  $4,5$  мм при  $h/d = 0; 1,2; 2,5; 5,0; 7,5; 10$  и  $12,5$ .

Полученные данные могут быть представлены в виде графика изменения угла расширения струи —  $\Theta^\circ$  в зависимости от относительного отстояния  $h/d$  (рис. 1). В каждом конкретном случае отстояния источника  $h$  формируемая им струя имеет присущие только ей тенденции развития, выражающиеся в изменении угла расширения струи  $\Theta$  (рис. 1, а). Эти закономерности определяются безразмерным параметром  $h/d$ , а зависимость носит нелинейный характер (рис. 1, б). При  $h/d > 12,5$  угол расширения струи оказывается практически равным углу расширения свободной затопленной турбулентной струи ( $h = \infty$ ).

Дальнейшим этапом исследований являлось экспериментальное определение характеристик струйного потока, позволяющих судить о тенденциях его развития в пространстве. Такими характеристиками принято считать полуширину струи в направлении  $Z - z_{0,5}$ , а по оси  $Y$  — полутолщину струи  $y_{0,5}$  и параметр  $y_m$ , соответствующий ординате  $y$  (в фиксированном сечении  $X$ ), при которой скорость равна максимальной ( $U = U_m$ ).

Для получения данных о параметрах  $z_{0,5}$ ,  $y_m$  и  $y_{0,5}$  были выполнены многочисленные экспериментальные исследования частично ограниченных струй, формируемых насадками диаметром  $d = 1; 2$  и  $4,5$  мм при величине отстояния  $h$ , варьируемой в диапазоне  $h = (0 - 12,5)d$ . В результате эксперимен-

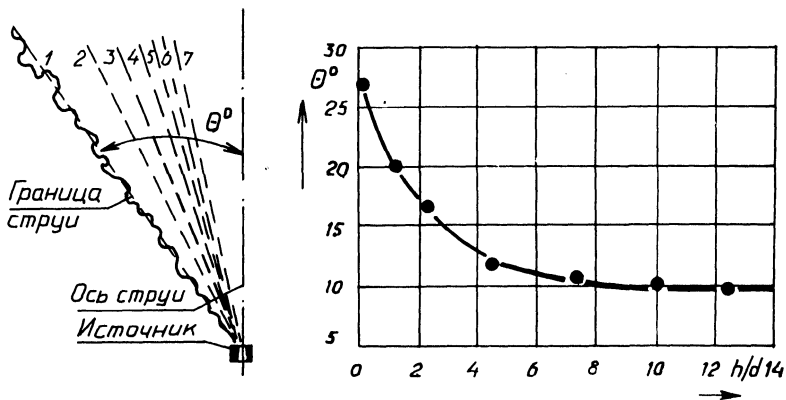


Рис. 1. Схема и график изменения угла расширения струи  $\theta = f(h/d)$ :  
 1 -  $h/d = 0$ ; 2 -  $h/d = 1,2$ ; 3 -  $h/d = 2,5$ ; 4 -  $h/d = 4,5$ ; 5 -  $h/d = 7,5$ ; 6 -  $h/d = 10$ ;  
 7 -  $h/d = 12,5$ .

тов, проведенных на основании электрохимической методики исследования скоростного поля течения, при помощи клинового электрохимического датчика-зонда, имеющего три степени свободы и вводимого в изучаемый струйный поток, были получены эпюры скорости по осям  $Y$  и  $Z$  в восьми фиксированных сечениях, удаленных от источника истечения на расстояние  $X = (0...400)d$ .

Результаты обработки полученных эпюр по оси  $Z$  представляют собой график  $U/U_m = f(z)$  для каждого из восьми сечений и позволяют определить значения параметра  $z_{0,5}$  - координаты точки, соответствующей значению скорости  $U = 0,5U_m$ . На основании этих данных был построен график изменения полуширины струи  $z_{0,5}/d$  вдоль по потоку для различных случаев отстояния  $h/d$  (рис. 2). Анализ результатов показал, что в плоскости  $Z$  каждой из рассмотренных частично ограниченных струй присущ свой характер и темп развития. Темп роста полуширины струи, представленный в безразмерном виде, по-

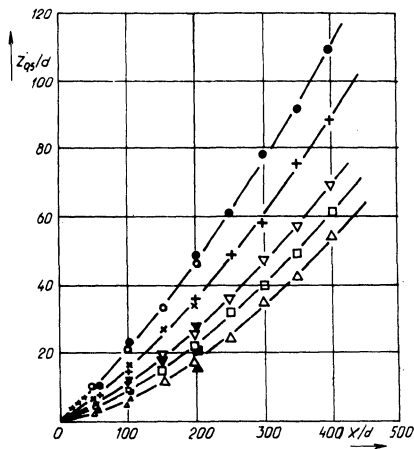


Рис. 2. График изменения полуширины частично ограниченных струй вдоль по потоку  $z_{0,5}/d$ :

● ○ -  $h/d = 0$ ; + ×  $h/d = 2,5$ ; ▼ ▽ -  $h/d = 5,0$ ; ■ □ -  $h/d = 7,5$ ; ▲ △ -  $h/d = 12,5$ .

зволяет заключить, что основным фактором, определяющим тенденцию его нарастания по потоку, является значение величины относительного отстояния  $h/d$  струеформирующего осесимметричного источника от плоской стенки, вдоль которой происходит ее развитие, и не зависит от величины начального выходного отверстия источника.

Применение насадков выходными диаметрами  $d = 1$  и  $2$  мм делает возможным получить данные на значительном удалении от источника истечения (порядка 400 калибров) и представление о характере развития границ самого потока, которые оказываются явно не линейными для всех рассмотренных случаев истечения. Все это не подтверждает гипотезы о прямолинейности границ частично ограниченных струйных потоков, выдвинутой на основании полученных данных [1], имеющих незначительный диапазон исследования  $x/d \leq 60$ .

Обработка эпюр скорости потока по оси  $Y$ , представляющих собой график  $U/U_m = f(y)$  для каждого фиксированного сечения  $x/d$ , позволяла получить

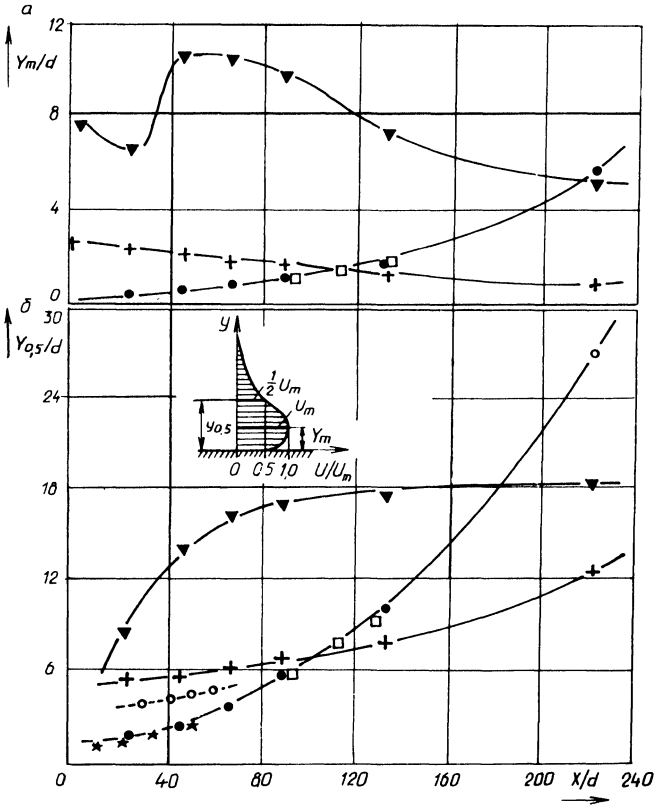


Рис. 3. Изменение характеристик течения струй в плоскости  $Y$ :

- $a$  — параметра  $y_{0,5}/d$ ;  $b$  — полутолщины струи  $y_{0,5}/d$ ; ● —  $h/d = 0$ ; + —  $h/d = 2,5$ ;
- ▼ —  $h/d = 4,5$ ; □ — из работы [2]; ●, ★ — из работы [1].

значения характеристик течения  $y_m$  и  $y_{0,5}$ , используя которые были построены графики, приведенные на рис. 3, соответствующие трем случаям отстояния источника  $h/d = 0; 2,5; 7,5$ . Кроме того, на рис. 3, а и 3, б приведены экспериментальные данные для пристенной [2] и частично отстоящей струи с  $h/d = 2,0$  [1].

Анализируя графики, можно отметить следующее. В случае развития пристенной струи ( $h/d = 0$ ) наблюдается ярко выраженный экспоненциальный рост как параметра  $y_m$ , так и параметра  $y_{0,5}$  с увеличением расстояния  $X$  от выходного сечения. При этом получено хорошее согласование с данными по характеристикам пристенной струи [1, 2].

Что касается развития частично ограниченных струй, то здесь картина изменения рассматриваемых параметров  $y_m$  и  $y_{0,5}$  существенно отличается от случая распространения пристенной струи. Так, в случае развития струи, отстоящей на  $h = 2,5d$ , имеем, что величина  $y_m$  непрерывно уменьшается в рассмотренном диапазоне  $0 \leq X \leq 220d$ , при постоянном нарастании полутолщины струи  $y_{0,5}$ .

При варианте отстояния струеформирующего насадка  $h = 7,5d$  для параметра  $y_m$  присуще несколько этапов развития. Так, на участке  $0 \leq X \leq 20d$  наблюдается уменьшение  $y_m$ , на участке  $20d < X \leq 40d$  – временное возрастание, а на  $X > 40d$  – опять дальнейшее уменьшение.

Такое немонотонное изменение ординаты  $y_m$  обусловлено перестройкой течения самой струи в окрестностях точки присоединения ее к рабочей поверхности. При малом отстоянии источника ( $h \leq 2,5d$ ) присоединение струи к поверхности происходит на небольшом участке  $X$ , что приводит к быстрому растеканию струи по самой поверхности и постоянному смещению максимума скорости в направлении присоединения. Тем не менее влияние отстояния все же сказывается на снижении темпа нарастания полутолщины  $y_{0,5}$  по сравнению с пристенной струей.

В случае, когда источник отстоит на большем удалении от рабочей поверхности ( $h \geq 7,5d$ ), развитие частично ограниченной струи существенно изменяется. Вначале она развивается как свободная осесимметричная струя, а искривление траектории в сторону рабочей поверхности приводит к уменьшению параметра  $y_m$ . Затем, когда нижний край струи, взаимодействуя с поверхностью, начинает затормаживаться, струя некоторое время стремится "оттолкнуться" от преграды в противоположную сторону и  $y_m$  временно возрастает. При дальнейшем развитии струя растекается по поверхности, вызывая смещение максимума скорости в сторону самой поверхности, приводящее к повторному уменьшению  $y_m$ . Что касается изменения полутолщины струи –  $y_{0,5}$ , то здесь имеется область резкого роста ее значения ( $X \leq 80d$ ) и последующая область медленного стабилизированного нарастания значения  $y_{0,5}$  ( $X > 80d$ ).

Таким образом, в данной работе были экспериментально получены данные о характеристиках течения частично ограниченных турбулентных струй в плоскостях развития  $Y$  и  $Z$ . Все это свидетельствует о следующих моментах:

получены визуальные данные по развитию частично ограниченных струйных течений;

подтверждена гипотеза авторов [4,5] о том, что в случае распространения частично ограниченных течений закономерности их развития в пространстве определенным образом зависят от величины отстояния струеформирующего осесимметричного насадка от поверхности, вдоль которой они распространяются;

для всех рассмотренных случаев частично ограниченных струй в диапазоне  $h = (0...12,5)d$  и  $X = (0...400)d$  по оси  $Z$  отмечен нелинейный характер изменения полуширины струи, темп нарастания которой определяется величиной отстояния  $h/d$ ;

темп нарастания полутолщины рассмотренных типов течения также оказывается нелинейным. Причем изменение параметров  $y_m$  и  $y_{0,5}$  также зависит от  $h/d$ , оказывающего влияние на картину перестройки течения струи в окрестности преграды в вертикальной плоскости.

Приведенные в статье материалы были использованы при обосновании выбора оптимальных режимов работы системы защиты от биологического обрастания объектов, основанных на струйной подаче токсичного для обрастателей реагента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Davis M.R., Winarto H. Jet diffusion from a circular nozzle above a solid plane // J. of Fluid Mechanics. — 1980. Vol. 101, N 1. — P.p. 201–220.
2. Newman B.G., Patel R.P., Savage S.B., Tjio H.K. Three-Dimensional Wall Jet Originating from a Circular Orifice // J. Aeronautical Quarterly. — 1972. — Vol. 23, N 3. — P.p. 188–200.
3. Поворотный И.В., Прокочук Д.А., Козлов Д.А. Влияние параметров насадков на развитие турбулентных затопленных струй // Водное хоз-во и гидротехн. стр-во. — Мн., 1987. — № 16. — С. 89–94.
4. Прокочук Д.А., Поворотный И.В., Козлов Д.А. Развитие турбулентной осесимметричной струи, распространяющейся вдоль плоской стенки // Реофизика полимерных и дисперсных жидкостей. — Мн., 1986. — С. 126–132.
5. Поворотный И.В., Прокочук Д.А., Козлов Д.А. Пристенная турбулентная струя, истекающая из осесимметричного источника // Водное хоз-во и гидротехн. стр-во. — М., 1988. — № 17. — С. 85–89.

УДК 532.522

А.В. КАРПЕЧЕНКО, В.В. КУЛЕБЯКИН,  
В.В. ТОВЧИГРЕЧКО

#### О ВЛИЯНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК НА ИМПАКТНУЮ СТРУЮ

Исследования импактных течений обусловлены их широким использованием в мойке и очистке деталей, в гидромониторном бурении — там, где определяющим технологическим фактором является воздействие струи на преграду. Сложность гидродинамической ситуации, когда одновременно представлены участок невозмущенного движения, область разворота и радиальная пристенная зона [1], затрудняет теоретическое решение задачи. Отсутствие общепринятой концепции воздействия полимерных добавок на механизм тур-