

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 η_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 — Θ° 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 Θ (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-

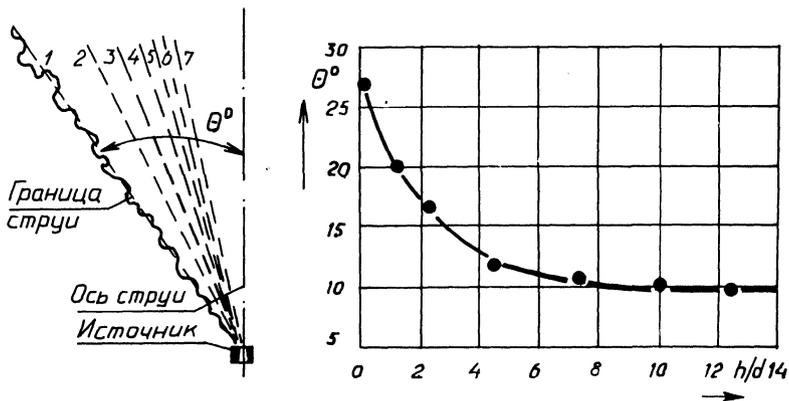


Рис. 1. Схема и график изменения угла расширения струи $\theta = f(h/d)$:
 1 - $h/d = 0$; 2 - $h/d = 1,2$; 3 - $h/d = 2,5$; 4 - $h/d = 4,5$; 5 - $h/d = 7,5$; 6 - $h/d = 10$;
 7 - $h/d = 12,5$.

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-

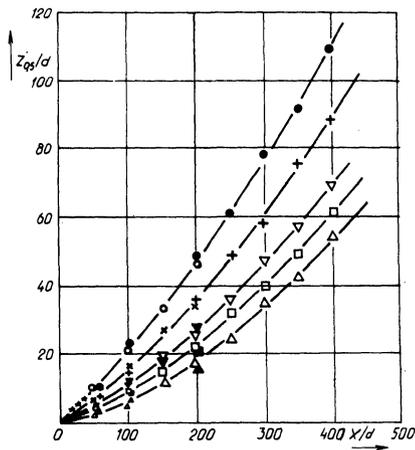


Рис. 2. График изменения полуширины частично ограниченных струй вдоль по потоку $z_{0,5}/d$:

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

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

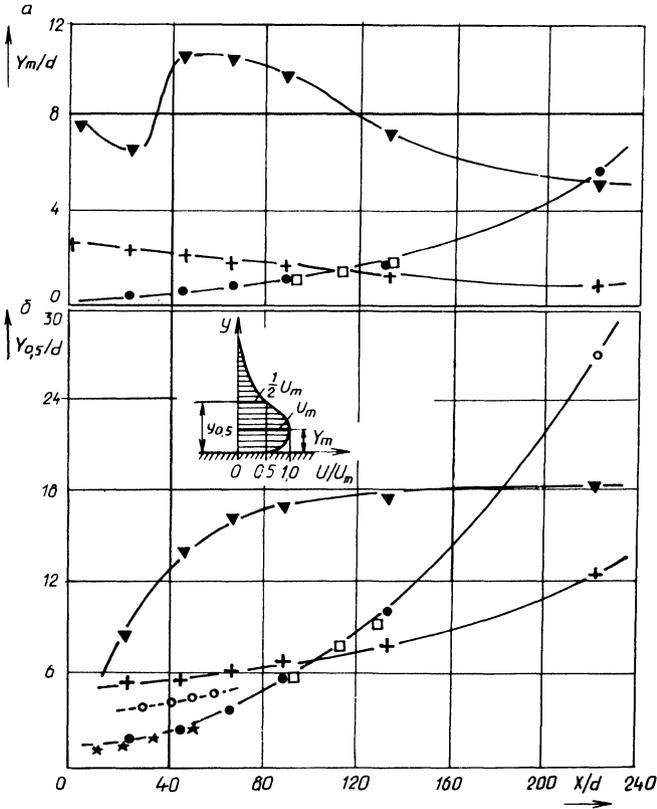


Рис. 3. Изменение характеристик течения струй в плоскости Y :

a - параметра $y_{0,5}/d$; $б$ - 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., Прокоччук 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. Прокоччук 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., Прокоччук 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-