

или

$$l^2 + 2l \frac{V_0^2 \cos^2 \beta}{g} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) - \frac{V_0^2 \cos^2 \beta}{g} (t_0 - t \cos \alpha) = 0.$$

Отсюда

$$l = \frac{V_0^2 \cos^2 \beta}{g} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) \left(\sqrt{1 + \frac{g(t_0 - t \cos \alpha)}{V_0^2 \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)}} - 1 \right).$$

При выполнении гидравлических расчетов решетчатых водосливов необходимо правильно оценить особенности работы решетки и с учетом этого выбрать начальные условия и способы определения исходных параметров: положение осей координат, начальную глубину потока, длину нерабочей части решетки, ее уклон, конструкцию и т.д. Затем, используя зависимость (27), определить положение свободной поверхности (глубину) транзитного потока. Имея связь $t = f(x)$ в численном виде, можно определить транзитный расход в расчетном створе x_p , используя зависимость (12). Расход решетки длиной x_p составит $q_p = q_0 - q_T$.

Учитывая трудоемкость, решение данной гидравлической задачи целесообразно выполнять с использованием ЭВМ. Для облегчения расчетов была разработана программа расчета на ЭВМ ЕС-1020.

На основании полученных расчетных данных составлены графики, удобные для практического использования.

Сопоставление экспериментальных и теоретических данных (рис. 3) указывает на хорошую сходимость. Некоторые отклонения, относящиеся к небольшой глубине транзитного потока (при $t \leq 1-1,5$ см), можно объяснить нарушением условий автомодельности в результате неучета сил поверхностного натяжения (числа W_1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Л а р ь к о в В.М. Водосливная плотина облегченного типа на р. Быстрая, Горки, БССР. — 1985. — 4 с.
2. Руководство по гидравлическим и русловым расчетам речных гидроузлов. М., 1980. — 12 с.

УДК 532.525.2

И.В.ПОВОРОТНЫЙ, Д.А.ПРОКОПЧУК,
Д.А.КОЗЛОВ, канд.-ты техн. наук (БПИ)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСАДКОВ НА РАЗВИТИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ЗАТОПЛЕННЫХ СТРУЙ

Биологическое обрастание плавучих морских буровых установок, элементов приливных гидроэлектростанций, корпусов судов ухудшает условия их функционирования. В связи с этим ведутся исследования по разработке и применению наиболее надежных и экономичных способов средств защиты подводных сооружений и конструкций от биологического обрастания.

Цель данной работы: исследование влияния параметров насадков и огра-

ниченности потока на закономерности развития затопленных турбулентных струй.

Для измерения полей скорости и концентрации в изучаемых струйных течениях применялся электрохимический метод. Последний основан на измерении плотности диффузионного тока. Датчики, выполненные в виде электродов-катодов, помещались в изучаемый поток или же монтировались заподлицо в обтекаемую потоком преграду. В качестве электролита использовался раствор ферри-ферроцианида $K_4Fe(CN)_6$ и $K_3Fe(CN)_6$, в котором протекала окислительно-восстановительная реакция. Датчики выполнялись из платины небольших размеров, в то время как другой электрод-анод, выполненный, например, из никеля, имел поверхность, во много раз превышающую площадь датчика-катада, поскольку один из электродов должен быть неполяризован.

Измерения проводились при установлении режима предельного тока (диффузионный режим). По величине предельного диффузионного тока можно судить о величине средней скорости, пульсаций скорости и концентрации электролита (если электролит используется в качестве модельной жидкости, концентрацию которой определяют в потоке) [1, 2].

Электрохимическая методика измерения параметров турбулентных потоков была применена для изучения струйных течений на гидродинамическом стенде (рис. 1). Установка представляет собой гидродинамический лоток 1 с размерами $l \times b \times h$, равными 2000 x 1300 x 540 мм, заполненный раствором электролита. При помощи центробежного насоса 3 через ротаметр 4 поток попадает в рабочий участок 5, где он стабилизируется и поступает в исследуемый насадок 6. В проливочном стенде расположена рабочая пластина 8, моделирующая защищаемую поверхность и способная при помощи направляющих 9 изменять свое положение относительно оси исследуемого насадка в интервале $h^* = 0-200$ мм. Заподлицо с рабочей поверхностью пластины вмонтирована система из 21 электрохимического датчика 10, с помощью которых можно измерять параметры скорости и концентрации в пристенном слое. Кроме этого, на координатнике 11, обеспечивающем перемещение в трех плоскостях, установлен клиновой электрохимический датчик 12, при помощи которого измеряются поля скорости и концентрации исследуемого потока в любой точке гидродинамического стенда.

В случае исследования полей концентрации в гидродинамический стенд заливается чистая вода, а электролит в бак 2, откуда он подает в основной лоток. При исследовании полей скорости гидродинамический лоток работает в циркуляционном режиме. Подача и регулирование расхода жидкости осуществляются при помощи соединительных шлангов 22, 23, 24 и дросселей 13 и 14.

Обработка получаемой при помощи датчиков информации осуществляется двумя способами. Данные, получаемые от датчиков, записанных через сопротивления 16 от источника 15, могут подаваться на приборы измерения и контроля 17 и 18 или же в информационно-измерительную систему (ИИС К 200/1) 19, работающую совместно с перфоратором (ПЛ-1) 20 и осциллографом (С 1-83) 21, а затем выводится для обработки на ЭВМ.

Поскольку в некоторых работах [3] отмечается влияние числа Рейнольдса на характер развития струи при малых числах Re и наблюдается квазиподобие

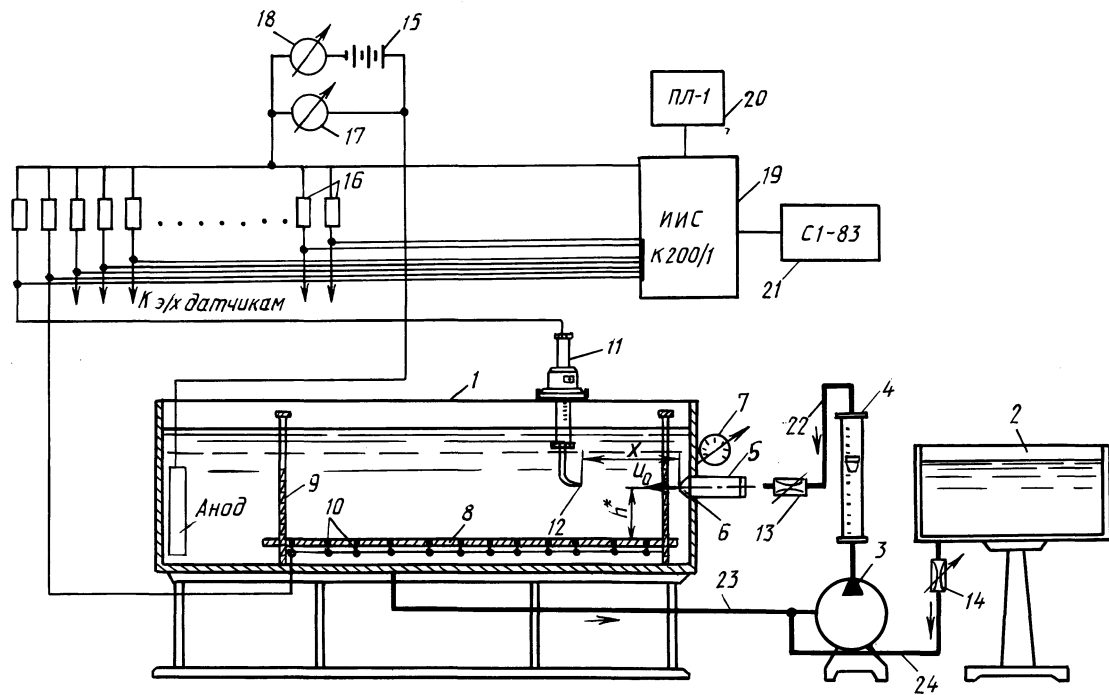


Рис. 1. Схема гидродинамического стенда для исследования струйных течений

при числах $Re \geq 5 \cdot 10^3$ наши исследования проводились при скоростях истечения струй, соответствующих $Re = (3,26 - 4,54) \cdot 10^4$ для осесимметричных струй и $Re = 5,6 \cdot 10^3$ для плоских струй.

На начальном этапе определены гидродинамические характеристики исследуемых насадков.

При помощи дросселя 13 устанавливается фиксированный расход жидкости, контролируемый по ротаметру, при помощи манометра 7 измерялось давление на входе в исследуемый насадок, а шпигенмасштабом измерялась высота столба жидкости над выходным отверстием насадка. Выходная скорость на срезе сопла определялась при помощи э/х датчика 12 и по известным зависимостям, зная расход, скорость и напор, определялись гидравлические коэффициенты расхода μ , скорости φ , сопротивления ξ (табл. 1).

Затем исследовался закон затухания осевой скорости струи и влияние на него формы струеформирующего устройства. На следующем этапе изучалось затухание скорости в свободной и пристенной щелевой струях. Исследовалась плоская струя с числом $e = d/l = 0,05$, где d и l — высота и длина исследуемой щели (рис. 2).

На рис. 3 представлены результаты исследования законов затухания полуограниченных струй при использовании тех же самых насадков.

Таблица 1

Гидравлические характеристики исследуемых насадков

Тип насадка	$\omega_{с'}^2$ мм ²	Q , л/с · 10 ⁻³	V , м/с	H , м	$Re \cdot 10^3$	μ	φ	ξ
Коноидальный	13,85	135	9,61	4,8	40,5	0,99	0,99	0,14
		230	16,59	14,6	70	0,98	0,98	0,038
Конически сходящийся $n = 7, \alpha = 14^\circ$	15,9	135	8,66	4,1	39	0,947	0,966	0,071
		242	15,53	13,6	70	0,932	0,951	0,106
$n = 11, \alpha = 18^\circ$	22,9	135	6,01	1,9	32,5	0,965	0,985	0,031
		277	12,83	9,3	69,5	0,931	0,95	0,108
$n = 115, \alpha = 38^\circ$	13,2	135	13,53	11,7	55,5	0,675	0,898	0,254
		171	17,15	18,3	70,5	0,685	0,905	0,221
Цилиндрический	14,52	135	9,3	5,65	40	0,883	0,883	0,283
		218	13,99	13,3	60	0,866	0,866	0,16
Отверстие в тонкой стенке	13,2	135	15,96	14,5	65,5	0,606	0,946	0,112
		159	18,83	19,6	77	0,614	0,96	0,084
Полуцилиндрический	27,7	135	4,87	1,7	20	0,844	0,844	0,404
		277	10,01	7,2	42	0,841	0,841	0,414

Примечание. n — коэффициент поджатия насадка, α — угол конусности.

Рис. 2. Затухание осевой скорости в свободных затопленных струях. Щелевые сопла: 1 — данные [3]; 2 — данные [6], щель $e = 0,06$; 3 — щель $e = 0,05$,
 Насадки:
 4 — цилиндрический, данные [9]; 5 — коноидальный; 6 — конически сходящиеся; 7 — $n = 7$, $\alpha = 14^\circ$; 8 — $n = 11$, $\alpha = 18^\circ$; 9 — $n = 115$, $\alpha = 38^\circ$; 10 — цилиндрический; 11 — отверстие в тонкой стенке; 12 — полуцилиндрический

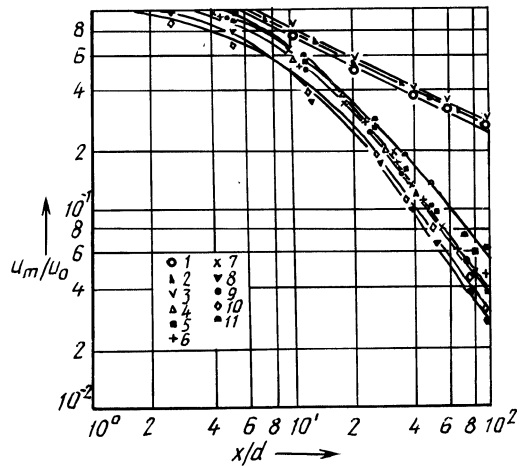
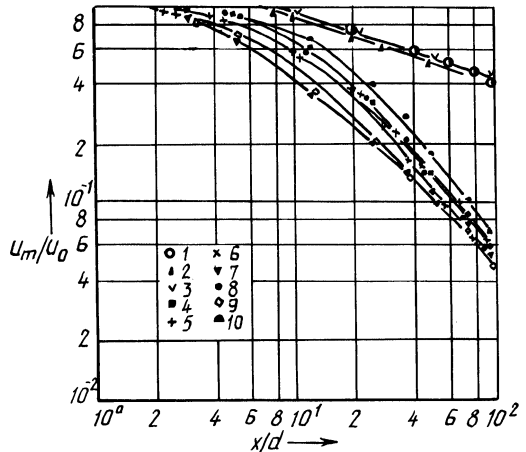


Рис. 3. Затухание осевой скорости в полуограниченных затопленных струях. Щелевые сопла: 1 — данные [7]; 2 — данные [8]; 3 — щель ($e = 0,05$).
 Насадки:
 4 — коноидальный; 5 — конически сходящиеся; 6 — $n = 7$, $\alpha = 14^\circ$; 7 — $n = 11$, $\alpha = 18^\circ$; 8 — $n = 115$; $\alpha = 38^\circ$; 9 — цилиндрический; 10 — отверстие в тонкой стенке; 11 — полуцилиндрический



Хорошее согласование полученных данных по щелевым струям с данными других авторов [3–5] дает возможность судить о надежности полученных экспериментальных данных и работоспособности применяемого метода измерений.

На рис. 2 и 3 результаты исследований представлены в относительных координатах $u_m/u_0 = f(x/d)$, где u_0 — скорость по оси струи в выходном сечении; u_m — скорость на оси струи в фиксированной точке; x — расстояние от среза сопла до точки, в которой производится измерение; d — характерный размер струеформирующего устройства, для насадка — диаметр, для щелевого сопла — высота щели.

Установлено, что темп затухания относительной осевой скорости в плоских струях оказывается значительно ниже, чем в осесимметричных. Несмотря на это, они не нашли широкого применения при разработке струйных систем защиты от обрастания. Это объясняется повышенным расходом реагента по

сравнению с осесимметричными струями, и поэтому основное внимание исследований было уделено изучению закономерностей развития осесимметричных струй.

Влияние формы струеформирующего насадка на потенциальное ядро имеет место как в случае свободных, так и полуограниченных струй. Это наблюдается в переходной зоне струи, прекращаясь лишь на основном участке, где темп затухания относительной скорости оказывается одинаковым для круглых струй. Для полуограниченных струй это влияние более выражено и сохраняется на удалении от среза насадка порядка 40–50 калибров. В случае свободных струй это ощущается на расстоянии порядка 20–30 калибров.

Форма насадка оказывает влияние на величину начального участка. Наименьшим начальным участком обладают струи, вытекающие из отверстия в тонкой стенке и из насадков с большими углами конусности, что определяется эффектами сжатия струи, присущими данным типа струеформирующих устройств. Таким образом, конструкция применяемого насадка оказывает влияние на процесс развития и распространения как свободной, так и полуограниченной турбулентной осесимметричной струи на участке до 50 калибров. С увеличением расстояния от среза сопла сверх 50 калибров темп затухания относительной скорости u_m/u_0 в струях оказывается одинаковым и независимым от конструкции применяемого насадка, определяясь лишь видом истечения — свободная или пристенная струя.

Исходя из приведенных на рис. 2 и 3 данных можно отметить, что выявлено влияние параметров насадка на характер развития струй, истекающих из различного типа осесимметричных насадков. Так, на начальном и переходном участках наблюдается различие скорости u_m/u_0 , составляющее до 30 % в полуограниченных и 15–20 % в свободных струях. На основном участке отличие составляет уже 10–13 % для свободных и 5–8 % для полуограниченных струй.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турбулентность принципы и применения / Под ред. У.Фроста, Т.Моулдена. — М., 1980. — 536 с. 2. Z.P. Shulman, N.A.Pokryvaio, D.A.Prokorchuk, A.K.Nesterov. Specific Properties of Turbulent Mass Transfer at the Wall in Dilute Polymer Solutions // Second International Conference on Drag Reduction. Cambridge. 1977. — P. 57–62.
3. Павловский В.А. Экспериментальное исследование плоской затопленной струи // Тр. Ленингр. кораблестроит. ин-та. — Л., 1981. — С. 69–79.
4. Майерс, Шауэр, Юстис. Развитие течения и коэффициент трения в полуограниченной плоской турбулентной струе // Техническая механика. 1963. — С. 58.
5. Хок, Джиджи. Взаимодействие стенки и двумерной турбулентной струи, истекающей параллельно стенке из сопла, установленного на некотором расстоянии от стенки // Теоретические основы инженерных расчетов, 1981. — Т. 103. — № 1. — С. 204–212.
6. З.П.Шульман, Н.А.Покрываило, Н.Д.Ковалевская и В.В.Кулебякин. Об измерении трубкой полного напора структуры турбулентного течения затопленных струй полимерных растворов // ИФЖ. — № 6. — Т. 25. — 1976. — С. 321–323.