

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-

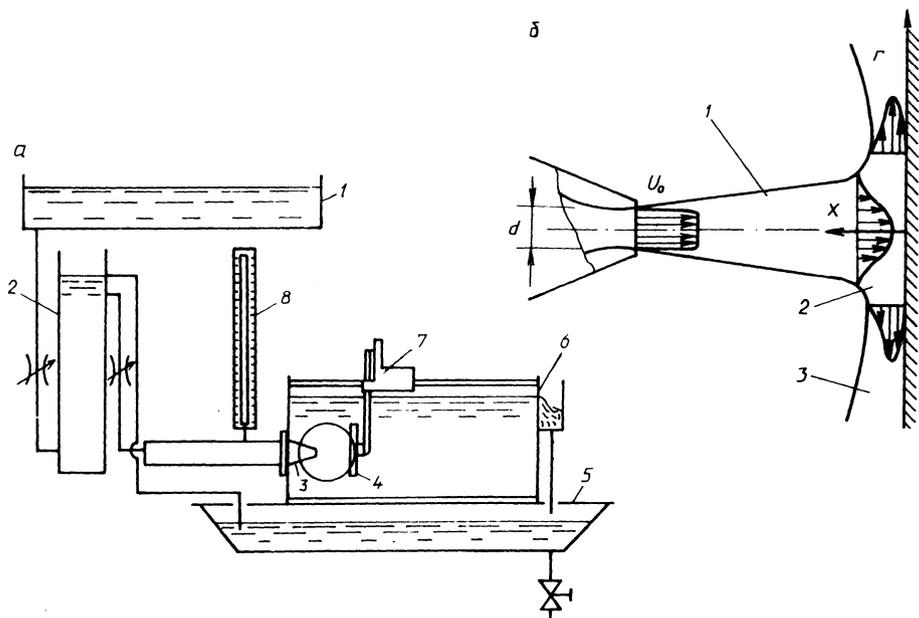


Рис. 1. Безнасосная установка:

a – принципиальная схема; 1 – основной бак; 2 – бак постоянного уровня; 3 – насадок; 4 – преграда; 5 – сливной бак; 6 – ювета; 7 – координатник; 8 – пьезометр; *б* – гидродинамическая картина при натекании струи на преграду: 1 – область невозмущенного движения; 2 – разворот; 3 – радиальная пристенная струя.

булентного течения делает экспериментальный путь исследования предпочтительным. Цель настоящей работы – определить влияние водорастворимых полимеров на осредненные и пульсационные характеристики давления и трения в области соударения.

Осесимметричная затопленная струя формировалась соплом диаметром $d = 3$ мм и с начальной скоростью $U_0 = 4,8$ м/с натекала на плоскую преграду в виде диска диаметром 135 мм под прямым углом (рис. 1). Для сведения к минимуму деградации полимерных растворов эксперименты выполнялись на безнасосной установке. Кроме того, осуществлялся контроль их состояния по снижению гидродинамического сопротивления при напорном течении в круглой трубе. На лицевой стороне диска размещались приемное отверстие, платиновый микрорезистор-катод и пьезокерамический датчик диаметрами соответственно 0,8; 0,4; 1,4 мм. В состав оборудования входили пьезометры, аппаратура для измерения среднего и пульсационной составляющей поверхностного трения электрохимическим, а также пульсаций давления пьезоэлектрическим методами. Рабочими средами служили свежеприготовленные растворы полиэтиленоксида (ПЭО) WSR-301, полиакриламида Сепаран AP 273 (ПАА) концентрацией $C = 0,01$ % вес и вода.

Рассмотренный тип течения характеризуется переходом кинетической энергии затопленной струи в потенциальную в области торможения, называе-

Распределения осредненного давления вдоль преграды

поперечная	Безразмерная координата					
	продольная					
	1,67	3	5	10	20	30
0	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{0,931}$	$\frac{0,884}{0,849}$	$\frac{0,349}{0,6}$	$\frac{0,104}{0,108}$	$\frac{0,0484}{0,052}$
	$\frac{0,891}{0,697}$	$\frac{0,807}{0,61}$	$\frac{0,56}{0,569}$	$\frac{0,264}{0,462}$	$\frac{0,097}{0,104}$	$\frac{0,047}{0,0415}$
1	$\frac{0,1}{0,115}$	$\frac{0,111}{0,092}$	$\frac{0,152}{0,112}$	$\frac{0,148}{0,259}$	$\frac{0,079}{0,0806}$	$\frac{0,042}{0,0305}$
	$\frac{0,023}{0,02}$	$\frac{-}{0,012}$	$\frac{-}{0,023}$	$\frac{0,05}{0,095}$	$\frac{0,061}{0,052}$	$\frac{0,036}{0,0225}$
2	$\frac{-}{0,005}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{0,006}$	$\frac{0,007}{0,046}$	$\frac{0,038}{0,033}$	$\frac{0,028}{0,016}$
	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{0,008}$	$\frac{0,011}{0,0101}$	$\frac{0,0125}{0,007}$

Пр и м е ч а н и е. В числителе – вода, в знаменателе – ПАА. Пропуски соответствуют нулевым значениям.

мой окрестностью критической точки. Последующий разворот потока сопровождается его ускорением и обратной трансформацией энергии. Поэтому объяснимым выглядит экспериментально полученное распределение осредненного давления вдоль преграды, отнесенного к динамическому напору на выходе из сопла P_0 (табл. 1) с максимумом на оси и последовательным уменьшением к периферии. Особенностью импактных струй с полимерными добавками является более узкий профиль с увеличением осевого значения при удалениях $x/d \sim 10$. Такое поведение вполне объясняется повышенной компактностью и дальнобойностью полимерных затопленных потоков [2]. После пяти калибров для обеих сред наблюдается автомодельность распределений давления, причем в случае полимерных растворов он более заполнен в приосевой области.

Во многом аналогичны рассмотренным профили пульсаций давления P' , но только вблизи центра растекания, в то время как после разворота их величина асимптотически приближается к нулевому значению. Максимум в критической точке (рис. 2) объясняется прежде всего торможением потока с высокой интенсивностью турбулентности – на основном участке затопленной струи она достигает десятков процентов. Примечательно, что при малых удалениях преграды профиль пульсаций имеет локальный минимум, соответствующий потенциальному ядру набегающего потока. В качестве особенности укажем

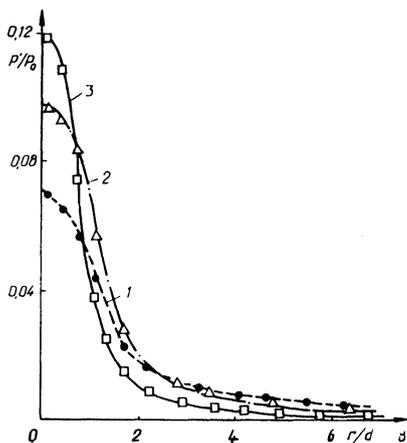


Рис. 2. Профили пульсаций давления на преграде:
 $x/d = 10$, $d = 3$ мм; $U_0 = 4,8$ м/с; 1 – вода;
 2 – ПЭО; 3 – ПАА.

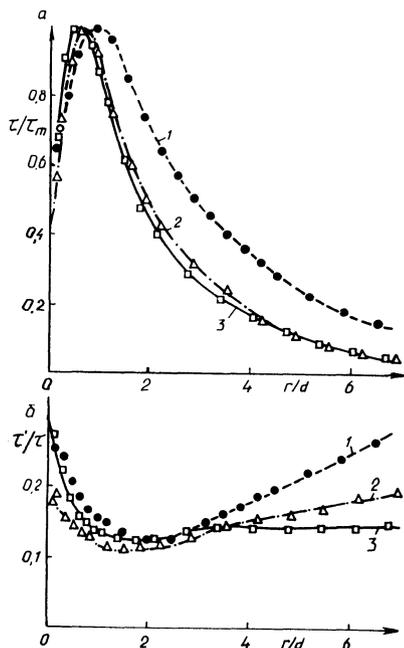


Рис. 3. Изменение поверхностного трения вдоль преграды:
 а – осредненные значения; б – среднеквадратичные значения пульсаций;
 $x/d = 10$, $d = 3$ мм; $U_0 = 4,8$ м/с; 1 – вода; 2 – ПЭО; 3 – ПАА.

резкий рост пульсаций давления в области торможения с вводом полимеров. Адекватного объяснения этому пока нет. Помимо влияния полимерных добавок на затопленную струю, данный эффект может быть связан с механизмом взаимодействия потока и находящихся в нем частиц. Согласно одной из наиболее обоснованных гипотез, агрегаты макромолекул полимера при прохождении сопла – области резкого роста скорости сдвига – испытывают интенсивные растягивающие напряжения, что заставляет их из клубков вытягиваться в нити, преодолевая упругие силы. В момент столкновения с препятствием запасенная энергия высвобождается, а сами агрегаты ведут себя подобно твердым частицам, после чего стремятся перейти в свое обычное состояние и в зоне радиальной пристенной струи их влияние сказывается в снижении сопротивления как при продольном обтекании пластины полимерным раствором.

Вывод о существенности предыстории течения – в данном случае области, где струя развивается как обычная затопленная, – подтверждается и измерениями поверхностного трения τ (рис. 3, а, τ_m – максимальное в данном сечении значение τ). Шлихтинг [3] определил для окрестности критической точки линейную зависимость касательных напряжений на стенке от поперечной координаты, что подтвердилось в наших опытах для малых удалений прегра-

ды. Отличие от теории состоит в ненулевом значении трения на оси течения при набегании полностью развитых турбулентных струй. Такое отклонение может быть объяснено спецификой электрохимического метода и рассматриваемого типа движения — конечными размерами датчика, интенсивным воздействием на него крупномасштабных вихревых образований. Максимум поверхностного трения в случае полимерных растворов на начальных калибрах смещается от центра, а профиль в сравнении с водой принимает более заполненный вид в периферийной области. С удалением преграды на $x/d \geq 5$ максимум распределения сдвигается к оси, а в зоне радиального растекания струй с добавками наблюдается снижение касательных напряжений. Отметим, что ввод полимеров способствует росту τ_m в пределах начального участка и уменьшению максимального трения с последующим удалением по сравнению с водой. Распределения основных гидродинамических параметров становятся подобными после $x/d \sim 10$ для обоих типов сред. Отмеченная тенденция на воде сохраняется для чисел Рейнольдса, рассчитанных по скорости истечения из сопла $Re_0 = = 3,8 \cdot 10^4$.

Измерения среднеквадратичных значений пульсаций трения подтвердили практически ламинарный характер движения с весьма малой толщиной пристенного пограничного слоя в области критической точки при непосредственном воздействии потенциального ядра на преграду. Интенсивность турбулентности затопленных струй на начальном участке [2] невысока и растет с удалением от сопла, что выражается в появлении локального максимума пульсаций в критической точке (рис. 3, б). Вблизи $r/d \sim 2$ флуктуации трения минимальны и по мере удаления от оси возрастают, причем растекание полимерных струй сопровождается подавлением турбулентности, вследствие чего темп роста τ/τ в этом случае заметно ниже.

Предельная относительная погрешность изменялась от 14 (поверхностное трение) до 1,8 % (его флуктуации).

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать следующие основные выводы относительно влияния полимерных добавок на рассматриваемый тип движения:

1. Вследствие повышения компактности и дальнобойности на основном участке прослеживается локализация воздействия на поверхность, из-за чего смещается максимум трения к оси и резко усиливается амплитуда пульсаций в окрестности критической точки на основном участке.

2. Область радиальной пристенной струи характеризуется заметным эффектом снижения гидродинамического сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю д а е в Б.Н., М и х а й л о в М.С., С а в и н В.К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами // М., 1977. — 248 с. 2. Ш у л ь м а н З.П., П о к р ы в а й л о Н.А., К о в а л е в с к а я Н.Д., К у л е б я к и н В.В. Об измерении структуры турбулентных затопленных струй полимерных растворов // ИФЖ. — 1973. — Т. 25, № 6. — С. 977–986.
3. Ш л и х т и н г Г. Теория пограничного слоя. — М., 1974. — С. 98–100.