

5. Ли Д. У. Влияние конструкции сопла и условий работы на распыливание и распределение топливных струй. Сб. «Двигатели внутреннего сгорания», т. 1, М., ОНТИ, 1963.
6. По б я р ж и н П. И. Исследование влияния внутреннего вихреобразования на качество распыливания и факел распыленного топлива. Тр. МВТУ, 1958, № 76.
7. Ли Д., Спенсер Р. Исследование топливных струй по микрофотографиям. Сб. «Двигатели внутреннего сгорания», т. 1, М., ОНТИ, 1936.

УДК 532.582.31

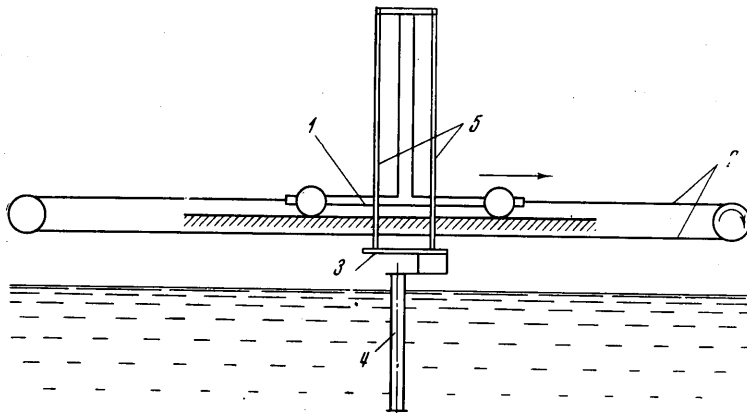
### АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЦИЛИНДРА, БУКСИРУЕМОГО В СЛАБОМ ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПОЛИМЕРА

Ю. Ф. ИВАНЮТА, Ю. Н. КАРПЕЕВ, В. К. КОРОВИЧЕВ

(Ленинград)

Исследуется влияние полимерных добавок на характеристики нестационарного колебательного движения буксируемого цилиндра, имеющего возможность совершать поперечные перемещения под действием силы, обусловленной асимметрией периодического отрыва пограничного слоя. Число Рейнольдса составляло  $3 \cdot 10^3 - 10^4$ .

Влияние частиц полимеров в потоке воды на гидродинамическое сопротивление и другие характеристики обтекания неподвижного цилиндра экспериментально исследо-



Фиг. 1

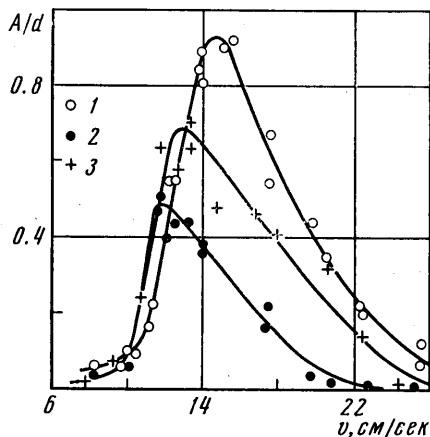
довалось в [1-3]. Было показано, что в докритической области обтекания это влияние может проявляться в снижении сопротивления, уменьшении размеров зоны отрыва потока за цилиндром, а также уменьшении интенсивности и частоты кармановских вихрей в следе.

Схема установки, на которой производились исследования, показана на фиг. 1. Основными ее элементами являются: бассейн длиной 6 м и шириной 2 м, вмещающий  $14 \text{ м}^3$  воды или раствора, буксировочная тележка, приводимая в движение с помощью тросовой системы 2 со скоростями до  $30 \text{ см/сек}$ , подвижная платформа 3, к которой крепится испытуемый цилиндр 4 диаметром  $d = 4 \text{ см}$ , погруженный вертикально в жидкость. Длина погруженной части цилиндра равна  $37 \text{ см}$ . Подвижная платформа связана с буксировочной тележкой четырьмя упругими элементами 5, позволяющими платформе и прикрепленному к ней цилиндру совершать поперечные перемещения по отношению к направлению буксировки.

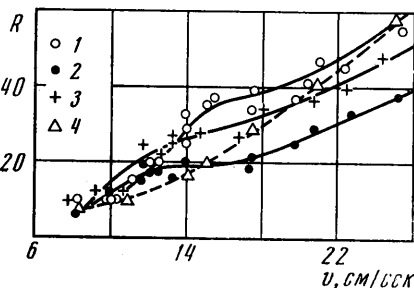
Цилиндр буксировался в воде и слабом водном растворе полимера. При этом регистрировались скорость буксировки  $v$ , сопротивление  $R$  и поперечные перемещения цилиндра.

Результаты экспериментов представлены на фиг. 2, 3. Точки 1 соответствуют буксировке колеблющегося цилиндра в воде, 2 — в свежеприготовленном растворе полиэтиленоксида концентрацией 0.005%, 3 — в том же растворе, но спустя 16 часов после первых опытов, и точки 4 — буксировке цилиндра, жестко связанного с тележкой, в воде.

На фиг. 2 показаны зависимости средней величины амплитуды  $A$  установившихся поперечных автоколебаний, отнесенной к диаметру цилиндра, от скорости буксировки. Эти зависимости имеют четко выраженные максимумы. Как видно из фиг. 2, наличие частиц полимера в воде приводит к почти двукратному уменьшению наибольшей величины амплитуды и смещению максимума в сторону меньших скоростей буксировки. Падение



Фиг. 2



Фиг. 3

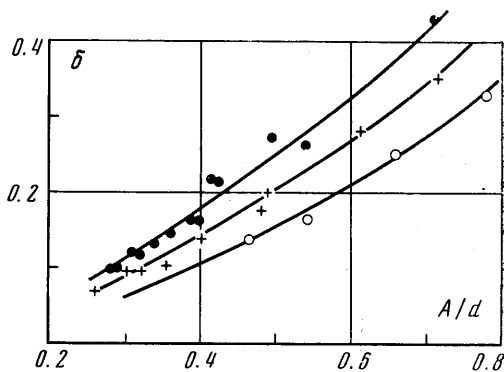
наблюдаемого эффекта при повторных испытаниях в том же растворе по истечении 16 часов связано, по-видимому, с деструкцией полимера в растворе при его хранении в течение продолжительного периода времени. Об этом также свидетельствуют результаты опытов над образцами раствора на специальном гидравлическом стенде.

В упомянутых опытах величина снижения гидравлического сопротивления при течении раствора концентрацией 0.005% в трубе (по сравнению с течением воды) для свежеприготовленного раствора была на 10% выше, чем для раствора той же концентрации, но спустя 16 часов после его приготовления.

Экспериментальные зависимости сопротивления цилиндра от скорости буксировки приведены на фиг. 3. Приращение гидродинамического сопротивления колеблющегося цилиндра тем больше, чем больше амплитуда колебаний. В свежеприготовленном растворе полиэтиленоксида это приращение существенно меньше, чем в воде, а в области, где  $A/d < 0.3$  ( $v > 14$  см/сек), сопротивление на 30—40% меньше, чем в случае буксировки жестко закрепленного цилиндра в воде (пунктирная кривая).

Перед началом каждого цикла буксировочных испытаний производилась запись свободных колебаний цилиндра в покоящейся жидкости.

Результаты обработки этих записей представлены на фиг. 4 в виде зависимости декремента колебаний  $\delta$  от их амплитуды (обозначения те же, что и на фиг. 2, 3). Отмечается существенное (на 50—60%) увеличение величины декремента при колебаниях цилиндра в растворе полиэтиленоксида по сравнению с колебаниями в воде. Этот эффект не может быть объяснен влиянием вязкости поскольку согласно измерениям на капиллярном вискозиметре вязкость раствора концентрации 0.005% отличается от вязкости воды не более чем на 3%. Увеличение декремента, по-видимому, можно связать лишь с проявлением вязкоупругих свойств жидкости, содержащей частицы полимера, при нестационарном движении в ней колеблющегося тела.



Фиг. 4

Однако прямая связь между нестационарностью движения цилиндра и характеристиками вязкоупругости раствора полимера не обнаруживается, так как величины периодов свободных колебаний и автоколебаний цилиндра, изменявшиеся в проведенных опытах в пределах 1.5—1.7 сек, на несколько порядков превышают время сдвиговой релаксации.

Существенное уменьшение амплитуды автоколебаний цилиндра, буксируемого в слабом растворе полимера, по сравнению со случаем буксировки в воде отчасти может быть связано с уменьшением силы, вынуждающей колебания вследствие затягивания отрыва ламинарного пограничного слоя цилиндра, который находится в докритическом режиме обтекания, и уменьшения размеров зоны вихреобразования и следа. Затягиванием отрыва также может быть объяснено уменьшение полного сопротивления цилиндра, подавляющую часть которого составляет сопротивление давления. Другой причиной уменьшения амплитуды является увеличение сопротивления нестационарным колебательным движениям цилиндра в растворе полимера, о чем свидетельствуют зависимости декремента свободных колебаний от амплитуды, показанные на фиг. 3.

Авторы благодарят В. П. Боровикова за помощь в организации экспериментов.

Поступила 19 X 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А. В., Шульман З. П., Пурис Б. И. Отрыв пограничного слоя на круговом цилиндре, обтекаемом неньютоновской эластовязкой жидкостью. *Инж.-физ. ж.*, 1968, т. 14, № 1.
2. Баренблатт Г. И., Булина И. Г., Мясников В. П. Влияние растворов некоторых высокомолекулярных соединений на снижение сопротивления при обтекании тел турбулентным потоком. *ПМТФ*, 1965, № 3.
3. Калашников В. И., Кудин А. М. Вихри Кармана в потоках растворов полимеров, снижающих сопротивление трения. *Изв. АН СССР, МЖГ*, 1969, № 4.

УДК 533.6.01.6

#### АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ УДАРНОГО СЛОЯ В ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ СФЕРЫ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВДУВАХ

Г. А. ДАНИЛИН

(Москва)

Численные оценки при гиперзвуковом обтекании показывают [1], что вследствие больших конвективных и радиационных потоков плотность потока массы, уносимой с поверхности тела, может стать равной или большей плотности потока массы набегающего потока, т. е. плотность вдуваемого потока массы с поверхности тела можно считать как угодно большой. В настоящей статье приводится асимптотическое решение уравнений ударного слоя в окрестности критической точки сферы при интенсивных вдувах. Асимптотические решения сравниваются с численными и устанавливается граница их применимости.

Ранее асимптотические решения уравнений пограничного слоя при больших вдувах исследовались в работах [1—4]. В работе [1] были получены асимптотические и численные профили скоростей при течении газа в ударном слое в окрестности сферического и цилиндрического притупления. В качестве исходных принимались уравнения пограничного слоя. В работе [5] были получены асимптотические и численные решения уравнений Навье — Стокса в окрестности центральной линии тока для течения газа в плоском канале при интенсивном вдуве со стенок. Сравнение результатов вычисления по асимптотическим формулам с точными численными решениями показало довольно быструю сходимость асимптотических решений для всех перечисленных выше работ и позволило установить критерий большого вдува.

1. Рассмотрим обтекание сферы радиуса  $R$  гиперзвуковым потоком однородного, вязкого, теплопроводного, сжимаемого газа. Не учитывая диффузию и излучение в системе координат, связанной со сферой (ось  $x$  вдоль поверхности) и (ось  $y$  нормально к ней) уравнения движения в приближении тонкого ударного слоя [6, 7] в окрестности критической точки имеют вид