

## ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ НЕКОТОРЫХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА СНИЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ

Г. И. Баренблатт, И. Г. Булина, В. П. Мясников

(Москва)

В последнее время в литературе появились данные об изменении режима и снижении сопротивления трения при движении обычной ньютоновской жидкости в трубах в результате введения в поток высокомолекулярных добавок с образованием растворов малых концентраций [1-3].

Ниже приводятся некоторые результаты экспериментального исследования, цель которого заключалась в том, чтобы определить, как влияет введение полимерных растворов на сопротивление круглого цилиндра при обтекании его турбулентным потоком. Полимерный раствор подавался в поток непосредственно из обтекаемого тела, и режим самого потока вплоть до непосредственной окрестности тела не изменялся.

Исследования проводились в открытом канале шириной 1.2 м при глубине потока 1 м. Исследуемое тело представляло собой полый металлический цилиндр диаметром 40 мм, длиной 400 мм. Шлифованная поверхность цилиндра покрыта сеткой  $5 \times 5$  мм из продольных и кольцевых бороздок глубиной 0.5 мм для создания дополнительной регулярной шероховатости. Необходимость нанесения на поверхность цилиндра регулярной шероховатости связана с известным явлением кризиса сопротивления цилиндра при обтекании. Для того чтобы кризис сопротивления цилиндра не маскировал влияния полимерных добавок на величину сопротивления, необходимо было обеспечить наступление его при не очень больших числах Рейнольдса. Для использованных цилиндров область кризиса сопротивления согласно данным, приведенным в [4], приходится на интервал чисел Рейнольдса  $R$  от  $2 \cdot 10^4$  до  $4 \cdot 10^4$ . Степень шероховатости поверхности цилиндра, определяемая как отношение глубины бороздок насечки к диаметру цилиндра, была равна  $1.2 \cdot 10^{-2}$ .

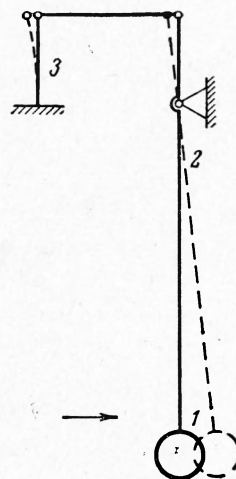
Вдоль образующих цилиндра, диаметрально противоположно друг другу, на пересечениях бороздок в три ряда просверлены отверстия диаметром 0.5 мм для выпуска раствора полимера. Цилиндр помещался в поток поперек течения на глубину 0.3 м от поверхности (где эпюра скоростей потока в канале прямолинейна) так, чтобы отверстия для выпуска полимера были расположены навстречу потоку и по потоку. Полимерный раствор подавался в цилиндр 1 (фигура) из бабка, давление в котором создавалось сжатым воздухом и поддерживалось на необходимом уровне. Трубки для подачи полимера и стойки 2, при помощи которых цилиндр с торцов крепился к измерительной системе, заключены в специальные обтекатели. Усилие, воспринимаемое цилиндром через систему рычагов, передавалось на упругий элемент 3 с тензодатчиками. Деформации тензоэлемента регистрировались по независимым каналам осциллографом и самописцем. Расход полимера определялся объемным способом. Скорость потока измерялась трубкой Пито и гидрометрической вертушкой на глубине погружения цилиндра.

Перед каждым опытом производилась тарировка упругого элемента путем подвешивания грузов. Максимальная ошибка величины сопротивления модели при измерениях не превышала 3%.

Эксперимент проводился по следующей схеме. На данной скорости определялось сопротивление стоек без цилиндра, затем сопротивление цилиндра вместе со стойками без полимера и, наконец, сопротивление цилиндра со стойками при введении полимера определенной концентрации.

В качестве высокомолекулярных добавок использовались водный раствор карбоксиметилцеллюлозы, водный раствор поливинилового спирта и раствор нафтената алюминия в химически чистом керосине. Концентрации растворов менялись от 10 до 0.5%.

В результате экспериментов при добавлении полимерного раствора значительное (от 20 до 34%) снижение сопротивления цилиндра при обтекании его турбулентным потоком с числом Рейнольдса  $R \sim 6.5 \cdot 10^4$ . При этом была обнаружена зависимость величины снижения сопротивления от расхода полимера. Оказалось, что чем выше скорость истечения полимера на выходе из обтекаемого тела, тем меньше эффект снижения сопротивления. По-видимому, это можно объяснить необходимостью соблюдения требования быстро выравнивания скоростей потока, обтекающего тело, и вытекающих струек полимера, выпускаемого из тела, так как в противном случае происходит ухуд-



шение условий обтекания и возрастание интенсивности турбулентных пульсаций в потоке, и влияние полимерной присадки нейтрализуется. Обнаружено также, что имеется какая-то оптимальная концентрация, не одинаковая для разных видов полимеров, при которой максимально снижается сопротивление.

Для исключения предположения о влиянии обычной вязкости на изменение условий обтекания были проведены контрольные опыты с введением обычной ньютоновской жидкости — глицерина, концентрация которого подбиралась таким образом, чтобы вязкость раствора глицерина была равна вязкости соответствующего раствора полимера. Эффект снижения сопротивления при добавлении глицерина оказался в пределах ошибки измерений. Замена полимера обычной водой не приводила к изменению показаний приборов, а при больших скоростях эжекции сопротивление цилиндра увеличивалось.

Раствор	$C, \%$	$p, \text{кг/см}^2$	$\zeta, \%$
Поливиниловый спирт в воде	1	0.5	10
	5	2.0	34
	10	2.0	31
Нафтенат алюминия в керосине	0.5	0.5	10
	2.5	1.0	18
Карбоксиметилцеллюлоза в воде	1	0.6	10
	40	0.5	4

В таблице приведены данные по концентрации  $C\%$  и величине снижения сопротивления  $\zeta\%$  для исследованных полимерных растворов и глицерина при различных значениях давления в баке  $p \text{ кг/см}^2$  (число Рейнольдса  $R \sim 6.5 \cdot 10^4$ ).

Анализ причин снижения сопротивления модели на основе полученных данных не позволяет определить однозначно физический механизм этого явления. Обнаруженное падение сопротивления модели в рассматриваемом случае может быть обусловлено следующими причинами.

1. Сужение спутной струи из-за повышения вязкости в пограничном слое и перемещения точки отрыва вниз по потоку.

2. Уменьшение интенсивности турбулентных пульсаций в пограничном слое и спутной струе.

3. Изменение характера взаимодействия среды с поверхностью обтекаемой модели — скольжение.

Контрольные опыты с эжекцией в поток глицерина, а также визуализация потока при помощи подкрашенных растворов полимера и глицерина показали, что сужения спутной струи в зависимости от вида эжектируемой жидкости не происходит.

Можно, таким образом, заключить, что обнаруженный эффект связан с влиянием полимерного раствора на интенсивность турбулентных пульсаций или на характер взаимодействия потока с поверхностью модели.

В эксперименте принимали участие Б. И. Исаев, Л. С. Магазинер, З. П. Титова, В. М. Третьяков. Авторы выражают им глубокую благодарность. Авторы благодарны В. Ф. Шущпанову, Ю. Л. Якимову, Л. И. Жигачеву и А. И. Денисову за любезное содействие в проведении экспериментов, а также профессору М. Тулину (Hydronautics Inc., The USA) за ценное обсуждение схемы опыта.

Поступила 26 II 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

- Shaver R. G., Merrill E. M. Turbulent flow of Pseudoplastic Polymer Solutions in Straight Cylindrical Tubes. J. Amer. Inst. Chem. Engng, 1959, vol. 5 No. 2.
- Savins J. G. Drag reduction characteristics of solutions of macromolecules in turbulent pipe flow. J. Soc. Petr. Engng, 1964, vol. 4, No. 3.
- Metzner A. B., Graham P. M. Turbulent flow characteristics of viscoelastic fluids. J. Fluid Mech., 1964, vol. 20, No. 2.
- Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Изд. иностр. лит., 1956.