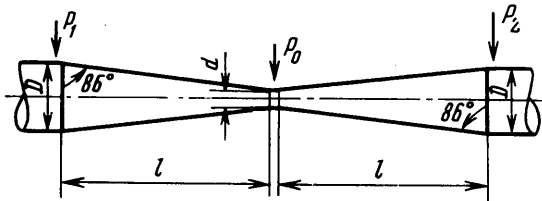


**ВЛИЯНИЕ СНИЖАЮЩИХ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК НА ТЕЧЕНИЕ В ПЛАВНО СУЖАЮЩИХСЯ И РАСШИРЯЮЩИХСЯ КАНАЛАХ**

Б. В. ЛИПАТОВ

(Москва)

Пристеночные вихревые образования и их последующий распад являются источниками турбулизации потока [1, 2]. Их интенсивность у гладких стенок зависит от величины и знака продольного градиента давления [1]. При существенных величинах отрицательного градиента давления возникновение вихрей не наблюдается. В ряде работ, например, [3] отмечается особое значение вихрей переходного слоя в явлении снижения сопротивления трения полимерными добавками. В работе были экспериментально исследованы течения с отрицательными и положительными гра-



Фиг. 1

диентами давления. Получены данные, свидетельствующие о том, что течение слабых растворов полимеров при отрицательных градиентах давления не отличается от течения ньютоновских жидкостей, тогда как при положительных градиентах в полной мере обнаруживается влияние полимерных добавок.

1. В опыте через специальный канал, схема проточной части которого приведена на фиг. 1, прокачивалась вода и водные растворы полимеров. Конфузор и диффузор канала имели одинаковые углы раскрытия  $\alpha/2=4^\circ$  и длины, равные 250 мм. При такой геометрии потока для ньютоновских жидкостей еще не наблюдается отрыва пограничного слоя от стенок. Между конфузуром и диффузором имелась цилиндрическая часть канала длиной 3 мм и диаметром 6 мм. Вход и выход этой части канала плавно сопрягались с конфузуром и диффузором, что позволило пренебречь потерями напора в ней и считать, что давление  $P_0$  (фиг. 1) соответствует давлению в конце конфузора или в начале диффузора. Вниз по потоку за диффузором размещался участок прямой гладкой трубки диаметром 10 мм и  $l/d=100$ , на котором контролировалось изменение эффекта снижения сопротивления в процессе опытов с конфузуром и диффузором.

Расход жидкостей измерялся одновременно объемным способом и предварительно тарированной трубой Вентури. В обоих случаях максимальная относительная ошибка измерения расхода не превышала  $\pm 0.75\%$ . Потери напора измерялись дифференциальным манометром с миллиметровой шкалой. В качестве рабочей жидкости для манометров в зависимости от величины измеряемых потерь напора применялись либо ртуть, либо четыреххлористый углерод.

В качестве полимерных добавок использовались гуаровая смола (J2-FP) и полиоксиэтилен (Polyox WSR-301) в различных концентрациях.

2. Для исследуемого потока в предположении, что потери на трение в короткой цилиндрической части канала пренебрежимо малы, уравнение Бернулли имеет вид

$$P_1/\gamma + V^2/2g = P_0/\gamma + v^2/2g + h_1 = P_2/\gamma + V^2/2g + h_1 + h_2$$

Здесь  $h_1$  и  $h_2$  — потери на трение в конфузуре и диффузуре,  $V$  и  $v$  — средние скорости в широком и узком сечениях потока,  $P_1, P_0, P_2$  — гидродинамические давления в соответствующих сечениях потока (фиг. 1).

Отсюда

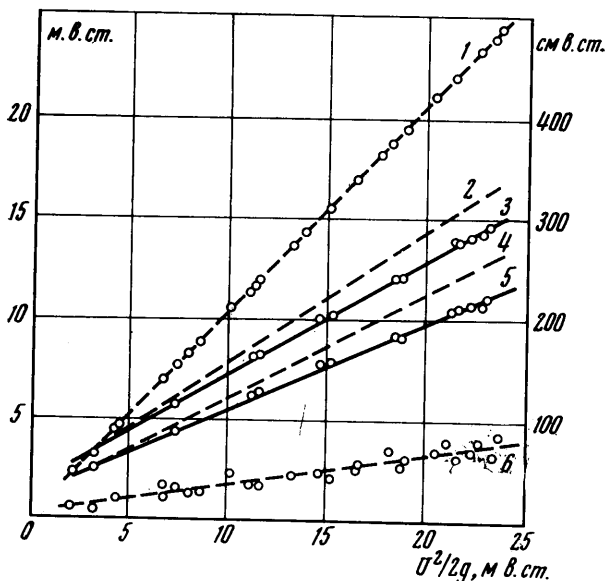
$$h_1 = (P_1 - P_0)\gamma^{-1} - [1 - (d/D)^4]v^2/2g, \quad h_2 = (P_0 - P_2)\gamma^{-1} + [1 - (d/D)^4]v^2/2g,$$

$$h_{12} = h_1 + h_2 = (P_1 - P_2)\gamma^{-1}$$

В опытах измерялись величины:  $(P_1 - P_0)\gamma^{-1}$ ,  $(P_2 - P_0)\gamma^{-1}$ ,  $(P_1 - P_2)\gamma^{-1}$  и  $Q = \frac{1}{4}\pi D^2 V = \frac{1}{4}\pi d^2 v$ .

На фиг. 2 приведены зависимости величины  $(P_1 - P_2)\gamma^{-1}$  (кривая 1) с масштабом ординат м.в.ст.,  $h_{12}$  (кривые 2, 3),  $h_2$  (кривые 4, 5), и  $h_1$  (кривая 6) с масштабами ординат см.в.ст. от скоростного напора  $v^2/2g$  для воды и гуаровой смолы с концентрацией  $c=3 \cdot 10^{-4}$ . Опытные точки для раствора полимера обозначены кружками, а для воды показаны пунктирными кривыми.

Как показывает фиг. 2, падение статического напора  $(P_1 - P_0)\gamma^{-1}$  и потери на трение  $h_1$  в конфузоре хорошо аппроксимируются соответствующими кривыми для воды. Это свидетельствует об отсутствии влияния полимерной добавки на поток в конфу-



Фиг. 2

зоре. В то время как общие потери в канале  $h_{12}$  и потери в диффузоре  $h_2$  меньше потерь для воды во всем диапазоне изменения динамического напора. Отметим, что судя по данным измерений в мерной цилиндрической трубе, деградации эффекта снижения сопротивления при повторных опытах с гуаровой смолой не наблюдалось.

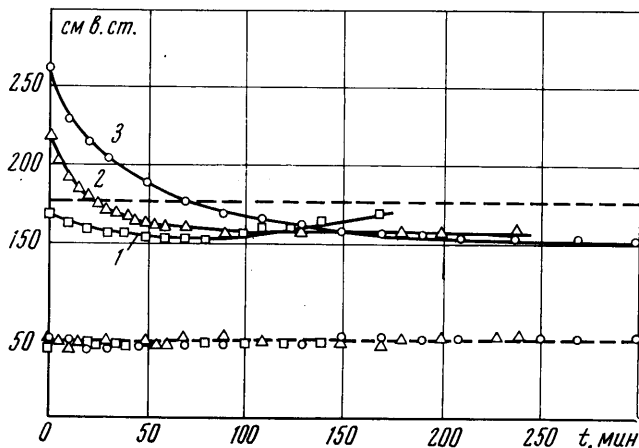
3. Опыты с добавками полиоксизтилена в связи с существенной деградацией эффекта воздействия этого полимера на поток проводились при постоянном расходе и прослеживалось изменение потерь во времени. Такие опыты повторялись для разных значений расхода и концентраций полимера. Поддержание заданной величины расхода для каждого случая достигалось непрерывной регулировкой режима движения жидкости в контуре установки. Для всех исследованных значений концентрации раствора и его расхода, а следовательно, и скоростного напора  $v^2/2g$ , были получены сходные результаты. Поэтому в качестве примера на фиг. 3 приведены результаты лишь одной серии опытов при  $v^2/2g=15.4$  м.в.ст. На этой фигуре опытные точки, относящиеся к раствору полимера, обозначены квадратами ( $c=3 \cdot 10^{-5}$ ), треугольниками ( $c=10^{-4}$ ) и кружками ( $c=3 \cdot 10^{-4}$ ). Для потерь в диффузоре через опытные точки проведены кривые 1, 2, 3. Потери в конфузоре аппроксимируются кривой для воды, данные для которой показаны прерывистыми линиями, внизу для конфузора и вверху для диффузора.

Графики фиг. 3 показывают, что так же как и для гуаровой смолы, добавка полиоксизтилена не оказывает влияния на течение в конфузоре. В диффузоре же имеет место снижение сопротивления. Можно видеть, что потери в диффузоре достигают со временем некоторого минимума и затем, по мере деградации эффекта, увеличиваются. Для малых концентраций (кривая 1 на фиг. 3) уже за время течения, реализуемое в данной установке, они становятся близкими к потерям для воды.

4. Максимальное снижение полного сопротивления в диффузоре для раствора полиоксизтилена и в полностью идентичных условиях для раствора гуаровой смолы  $\sim 12$  и  $8\%$  соответственно, в то время как в мерной трубе снижение сопротивления  $\sim 50\%$  для обоих растворов, т. е. существенно больше, чем в диффузоре. Однако если принять, что на ядро потока в диффузоре добавки полимеров не оказывают влияния и что потери на трение в исследованном диффузоре составляют  $\sim 25\%$  от полных потерь, то снижение трения в нем становится вполне сопоставимым со снижением сопротивления в цилиндрической трубе.

Следовательно, влияние полимерных добавок на сопротивление трения при безотрывном течении в расширяющемся канале проявляется в полной мере в отличие от сужающегося канала, где их влияние на поток не обнаруживается. Но в таком потоке не наблюдаются и вихри переходного слоя. Эти результаты свидетельствуют в пользу того, что при движении у гладкой стенки эффект снижения сопротивления возникает благодаря воздействию полимерных добавок на генерацию и распад пристеночных вихрей.

Наблюдавшаяся в начале опыта с растворами полиоксипропилена большая величина потерь по сравнению с потерями для воды (для приведенных здесь случаев на ~50%



Фиг. 3

при  $c=3 \cdot 10^{-4}$  и на ~25% при  $c=10^{-4}$ ) может быть связана с существенными изменениями режима течения под влиянием континуальных вязкоупругих свойств свежих растворов этого полимера (появление вторичных течений и др.). Но исследование этих явлений в данной работе не проводилось.

В заключение автор благодарит В. Н. Калашникова за обсуждение работы.

Поступила 15 XII 1972

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kline S. J., Reynolds W. C., Schraub F. A., Runstadler P. W. The structure of turbulent boundary layers. J. Fluid Mech., 1967, vol. 30, pt 4.
2. Corino E. R., Brodkey R. S. A visual investigation of the wall region in turbulent flow. J. Fluid Mech., 1969, vol. 37, pt 1.
3. Баренблатт Г. И., Городцов В. А., Калашников В. Н. Турбулентность аномальных жидкостей. Тепло- и массоперенос, т. 3. Минск, 1968.

УДК 532.501.32

### ПРОНИКАНИЕ КЛИНА В СЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ

В. Б. ПОРУЧИКОВ

(Москва)

В линейной постановке решена плоская задача о симметричном входе с постоянной скоростью тупого жесткого клина в идеальную сжимаемую жидкость с учетом подъема свободной поверхности. Основные результаты решения этой задачи для случая несжимаемой жидкости получены в [1-3]. При больших скоростях входа и (или) для достаточно затупленных тел необходимо учитывать сжимаемость жидкости. Случаи проникания тонких<sup>1</sup> и тупых клинзев в линейной постановке рассматривались в [9, 10]. В частности, в [9] было получено решение задачи о проникании тупого

<sup>1</sup> Григорян С. С. Некоторые задачи гидродинамики тонких тел. Канд. дисс., МГУ, 1956.