

## О ВЛИЯНИИ МАЛЫХ ДОБАВОК РАСТВОРИМЫХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

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

(Москва)

За последнее время опубликован ряд статей, в которых приводятся экспериментальные данные о снижении сопротивления при турбулентном движении жидкости по трубам и при обтекании препятствий, если в поток вводятся малые количества высокомолекулярных соединений, образующих растворы малой концентрации [1-4].

Однако известные в настоящее время данные не позволяют дать однозначный ответ на вопрос о физических причинах этого явления.

В предлагаемой работе изложены результаты экспериментов, позволяющих заключить, что причиной отмеченного резкого уменьшения величины потерь давления при турбулентных движениях жидкости является изменение характера пульсационного движения при введении в поток небольшого количества высокомолекулярных соединений.

Установка, на которой производились эксперименты (фиг. 1), представляла собой вертикальную цилиндрическую трубу диаметром 40 мм со стеклянным рабочим участком 2 длиной 1.2 м для наблюдения за характером течения.

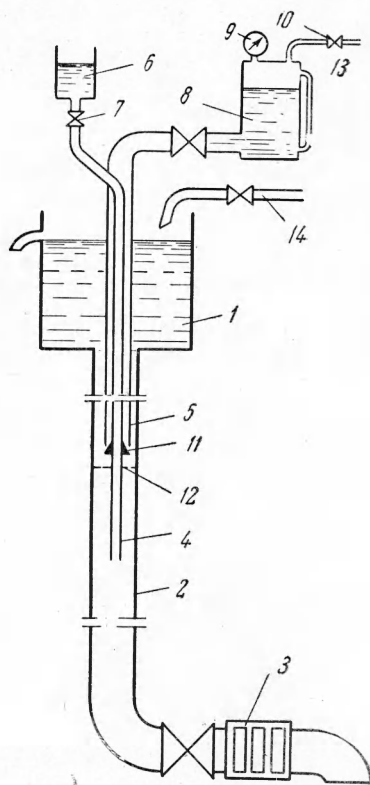
Верхним своим концом труба была присоединена к напорному резервуару 1, уровень жидкости в котором во время опыта поддерживался постоянным подачей воды через трубку 14. Из нижнего конца трубы жидкость через регулировочный вентиль поступала в расходомер 3. По измеренной величине секундного расхода определялась средняя по сечению скорость течения жидкости.

В верхней части рабочего участка, по оси его, устанавливались две концентрические трубки — внутренняя 4 — диаметром 3 мм, для подачи окрашенной индикаторной жидкости, и внешняя 5 — диаметром 8 мм, для подачи раствора полимера. Индикаторная жидкость подавалась из бачка 6, и ее количество регулировалось зажимом 7. Раствор полимера выдавливался из специального бачка 8 сжатым воздухом, который подавался по трубке 13. Давление сжатого воздуха контролировалось манометром 9 и регулировалось вентилем 10. Для обеспечения равномерного распределения вводимой полимерной присадки ниже места ввода полимера были установлены коническая муфта 11 и сетка 12 из проволоки диаметром 0.3 мм с размерами ячейки  $0.5 \times 0.5$  мм. Струйка индикаторной окрашенной жидкости вводилась в поток ниже сетки на расстоянии от 300 до 400 мм (600—800 размеров ячейки).

Переход ламинарного течения в турбулентное при отсутствии полимерных присадок происходил при числах Рейнольдса  $R = ul/\nu$ , равных примерно 2000—2100. Здесь  $u$  — средняя скорость течения, определяемая при помощи расходомера,  $l$  — диаметр трубы и  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости.

При ламинарном режиме движения подкрашенная струйка жидкости, вводившаяся через индикаторную трубочку, была прямолинейной и устойчивой в течение любого времени наблюдения.

Эксперименты проводились по следующей схеме. Сначала на ламинарном режиме движения регулировался расход индикаторной жидкости, представлявшей тщательно отфильтрованные водные растворы чернил для самопишущих приборов или бриллиантовой зелени, с тем, чтобы добиться равенства скоростей истечения струйки и движущейся жидкости [5]. При этих условиях подкрашенная струйка во всем рабочем участке трубы имела одинаковую толщину. После этого при помощи вентилей увеличивался расход жидкости через сечение трубы до получения желаемой величины чис-



Фиг. 1

ла Рейнольдса и проводилось фотографирование формы струйки с интервалом между снимками от 5 до 10 *сек.* Затем в поток выше по течению вводился раствор полимера и, после того как поступающий полимерный раствор, перемешавшись с поступающей из напорного бака жидкостью, полностью заполнял рабочий участок трубы, производилось фотографирование формы индикаторной струйки с тем же интервалом времени между последовательными снимками.

В результате было обнаружено, что после введения в поток полимерного раствора форма струйки резко изменялась. Струйка на всей наблюдаемой длине сохраняла непрерывность. Резко уменьшалось количество мелких протуберанцев и отдельных выбросов окрашенных частиц в поток от оси трубы. Крупномасштабные изгибы струйки становились более плавными.

Типичные результаты экспериментов показаны на фиг. 2 и 3. На фиг. 2, в верхней части листа, показана форма струйки в отсутствие полимерной присадки при числе Рейнольдса  $R = 3.2 \cdot 10^3$ , а на фиг. 2, в нижней части листа, — соответствующее изменение формы струйки после введения в поток раствора полимера. В рабочей части трубы объемная концентрация раствора не превышала  $5 \cdot 10^{-4}$ , а вязкость раствора была равна 1.2 *стз.*

На фиг. 3 показаны результаты такого же опыта, но при  $R = 5300$ . В верхней половине листа — типичные формы струек при отсутствии присадки полимера, а в нижней — их изменение после введения полимера.

Следует отметить, что визуальные наблюдения при увеличении чисел Рейнольдса сильно затрудняются тем, что возникающие в индикаторной струйке нерегулярности быстро сносятся потоком, и поэтому наблюдаемая картина становится менее отчетливой.

В качестве полимерных присадок в работе использовались водные растворы поливинилового спирта и карбоксиметицеллюлозы. Скорость ввода присадки в поток была меньшей, чем скорость течения жидкости в трубе. Вытекавшая струйка подкрашенного полимера, до того как она попадала на конусную муфту, сужалась, а затем равномерно разбрасывалась ею по сечению потока.

Результаты проведенных экспериментов позволяют утверждать, что введение в поток малых количеств высокомолекулярных соединений оказывает сильное влияние на характер турбулентного движения жидкости, подавляя ее пульсационное движение, особенно мелкомасштабную часть этого движения.

Авторы благодарны В. Ф. Шушпанову — за любезное содействие, В. П. Карликову, И. И. Слезингеру — за ценные обсуждения, а также З. П. Титовой, Л. С. Магазинер, В. В. Тихомирову и В. С. Шмелеву — за участие в проведении экспериментов.

Поступила 26 II 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shaver R. G., Merrill E. W. Turbulent flow of Pseudoplastic Polymer Solutions in Straight Cylindrical Tubes. Amer. Inst. Engng Chem J., 1959, vol. 5, No. 2.
2. Savins I. G. Drag reduction characteristics of solutions of macromolecules in turbulent pipe flow. Soc. Petr. Engng J., 1964, vol. 4, No. 3.
3. Metzner A. B., Graham P. M. Turbulent flow characteristics of viscoelastic fluids. Fluid Mech., 1964, vol. 20, No. 2.
4. 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.