

УДК 532.529

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА С ЖИДКИМИ ЧАСТИЦАМИ В ДО- И ТРАНСЗВУКОВЫХ ОБЛАСТЯХ ПЛОСКИХ СОПЛ

С. И. БАРАНОВСКИЙ, Н. М. ЕФРЕМОВ, В. В. ЗЛОБИН,  
И. А. ЛЕПЕШИНСКИЙ, Б. А. ТИХОНОВ

(Москва, Таллин)

В [1] были рассмотрены результаты экспериментальных исследований условий входа, крупности частиц, профилей до- и трансзвуковых частей сопла и начальной концентрации на распределение твердой дискретной фазы в выходном сечении осесимметричных сопел.

В настоящей работе, которая является продолжением [1], приводятся результаты исследования влияния профилирования сопла и крупности частиц на входе в сопло на формирование полей распределения жидкой дискретной фазы и ее крупности на срезе плоских сопел. Приведенные экспериментальные данные позволяют глубже понять механизм течения двухфазной среды в соплах и необходимы для оценки совершенства методов расчета.

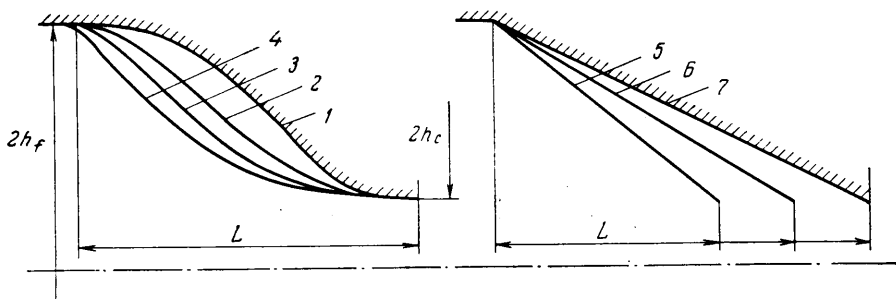
1. В качестве жидкой дискретной фазы использовались капли воды, средний объемно-поверхностный диаметр которых на входе в сопло  $d_{32f}$  варьировался от 48 до 100 мкм, а расходная массовая концентрация  $\mu_f$  составляла 0.33–0.50.

Исследовались плоские конфузорные клиновидные и профилированные сопла с высотой на входе  $2h_f = 80$  мм и высотой на выходе  $2h_c = 15$  мм (фиг. 1). Длина профилированных сопел  $L$  составляла 64 мм, а безразмерный радиус кривизны профиля критической части сопла  $R/h_c$  был равен 6, 10, 14 и 18 мм; в дальнейшем эти модификации сопел обозначаются номерами 1–4 соответственно. Клиновидные сопла имели длину 64, 96 и 128 мм и обозначены соответственно номерами 5, 6 и 7.

В экспериментах оптическими лазерными методами измерялась объемная концентрация  $\rho_s$  и крупность дискретной фазы на различных расстояниях от среза сопла.

Подробное описание установки и методики измерений приведено в [2].

2. Из данных фиг. 2, на которой представлены поля объемной концентрации для профилированного сопла 1 при трех крупностях дискретной фазы (точки 1–3 соответствуют  $d_{32f} = 48, 73$  и 100 мкм на входе в сопло и  $\mu_f = 0.33$ ), можно видеть, что поле концентраций на срезе сопла не зависит от крупности дискретной фазы на входе в сопло. Отметим, что этот результат в указанном диапазоне измерения крупности дискретной фазы получен как для других исследованных сопел, так и для поля крупности дискретной фазы на срезе сопла.



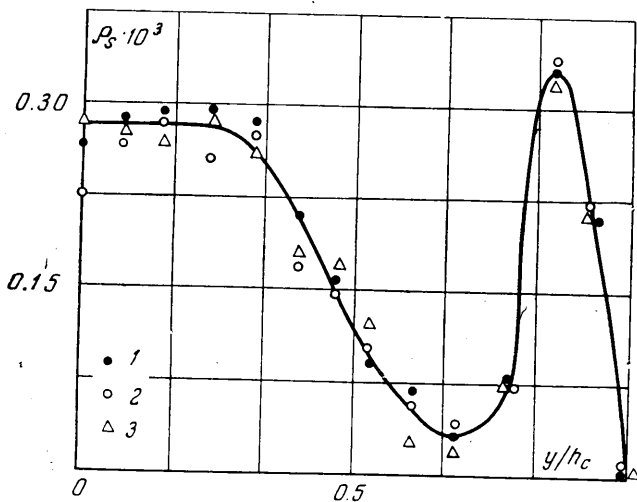
Фиг. 1

Объясняется это, очевидно, эффектом дробления жидкой фазы в сопле, вызванным аэродинамическими деформирующими силами. В связи с этим отметим работу [3], в которой показано, что конфузорных паровых соплах крупность дискретной фазы на срезе сопла не зависит от ее крупности на входе, если  $d_{32f} \geq 100$  мкм. Полученные в настоящей работе данные позволяют расширить этот вывод на все поле двухфазного потока, причем как для поля крупности, так и для концентраций дискретной фазы.

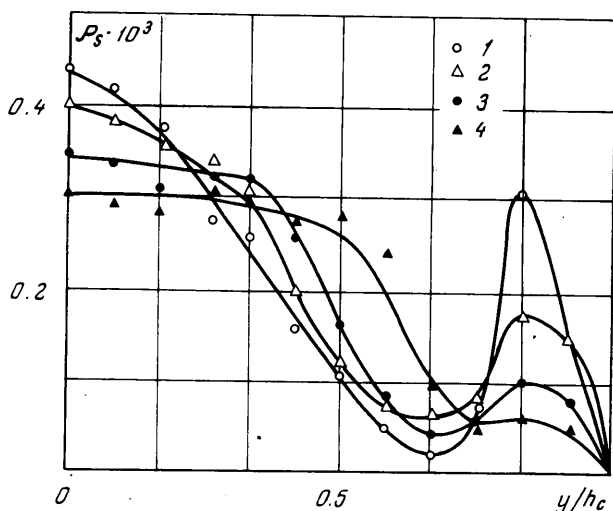
Пристеночный «пик» концентрации дискретной фазы (на фиг. 2) связан, очевидно, с наличием на стенке сопла жидкой пленки, которая, срываясь с выходной

кромки, вновь дробится до капельной структуры. При этом средний размер получающихся в результате дробления капель близок к среднему размеру частиц в «ядре» потока.

Результаты исследования влияния профилирования сопла на поля концентраций дискретной фазы представлены на фиг. 3 для сопел 1-4 (соответствуют точкам 1-4) при  $d_{32j}=48$  мкм и  $\kappa_j=0.5$ . По мере увеличения безразмерного радиуса кривизны профиля  $R_s/h_c$  поле концентраций перестраивается таким образом, что доля дискретной фазы, находящейся в зоне «пленки», уменьшается, а в зоне «ядра»



Фиг. 2



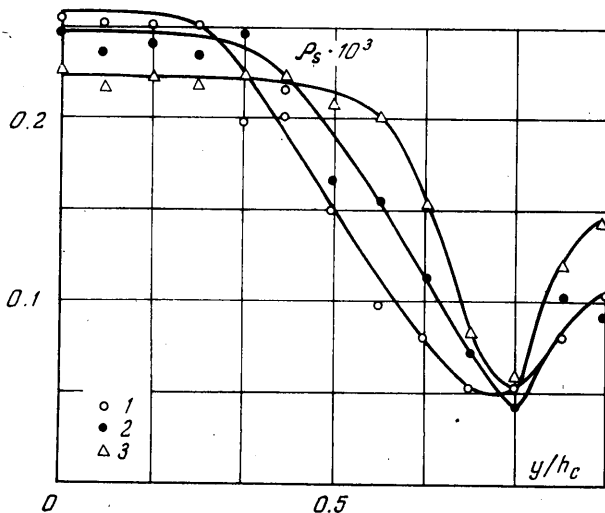
Фиг. 3

растет, и профиль концентраций становится более заполненным и равномерным. Аналогичным образом происходит перестройка поля крупности дискретной фазы; средний размер частиц при этом на срезе сопла составляет в ядре потока  $d_{32c} \approx 12$  мкм, вблизи стенки (вторичные капли)  $d_{32c} \approx 9$  мкм.

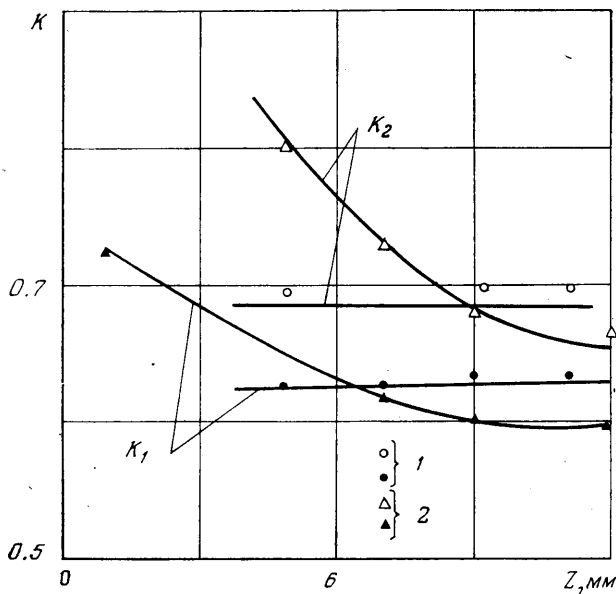
Влияние длины сопла на распределение дискретной фазы в клиновом сопле 5-7 (соответственно точки 1-3) при  $d_{32j}=73$  мкм,  $\kappa_j=0.5$  показывают данные фиг. 4. Отметим, что, как и в предыдущем случае, поля концентраций и крупности снимались на расстоянии  $z=5$  мм от среза сопла. Характер поля объемной концентрации  $\rho_s$  в клиновом сопле 5, имеющем ту же длину, что и профилированные сопла 1-4, приводит к выводу, что поле на срезе конического сопла лучше, чем в про-

филированном. Напомним, что аналогичный результат получен в экспериментах с порошкообразной дискретной фазой в [1]. Как и следовало ожидать, с увеличением длины сопла распределение дискретной фазы на срезе сопла становится более равномерным. Влияние длины сопла на поля концентраций в «ядре» потока аналогично влиянию радиуса кривизны профиля выходной кромки профилированных сопел.

Для объяснения характера полей, получающихся на выходе клиновых и профилированных сопел, проводились измерения деформации полей дискретной фазы в



Фиг. 4



Фиг. 5

струе за срезом сопла. Поля концентрации оценивались коэффициентом равномерности  $K_1$ , представляющим собой отношение среднего значения концентрации к максимальному, и коэффициентом  $K_2$ , равным отношению сечения, занимаемого ядром потока, к сечению всего потока. На фиг. 5 представлены зависимости коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  от расстояния  $z$  для профилированного сопла 1 (точки 1) и клинового сопла 2 при  $d_{32f}=73$  мкм и  $\kappa_f=0.33$ . Видно, что с увеличением  $z$  коэффициенты поля клинового сопла уменьшаются, а у профилированного сопла

остаются постоянными. Это объясняется тем, что векторы скоростей на срезе профилированного сопла не имеют поперечных составляющих и формирование поля закончено. У конических сопел векторы скорости капель на срезе сопла имеют поперечные составляющие, направленные к оси (в соответствии с характером профиля), и формирование профиля продолжается в струе после сопла. В этом смысле конические сопла обладают последствием.

3. В полном соответствии с [1] представленные данные показывают, что для относительно грубодисперсной капельной примеси профилирование конфузурной части сопла существенно влияет на характер движения дискретной фазы и позволяет эффективно управлять ее распределением на срезе сопла. Для достижения максимальной равномерности полей концентраций дискретной фазы необходимо использовать сопла с клиновыми и выпуклыми профилями входа. При этом необходимо иметь в виду, что на выходе конфузурного клинового сопла будет градиент поперечных скоростей, который вызывает перестройку течения и ухудшает равномерность полей концентраций вниз по потоку от среза сопла. Применительно к сверхзвуковым соплам это обстоятельство приводит к тому, что сопла с профилированной до- и трансзвуковыми частями должны иметь более равномерное поле концентраций в сверхзвуковой части сопла, чем сопла с клиновой дозвуковой частью.

В случае газочапельного потока средняя величина дисперсности на выходе из сопла не зависит от начальной дисперсности и профиля сопла, а определяется газодинамикой течения (перепадом давления и концентрацией).

Поступила 5 VIII 1977

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Злобин В. В. Исследование распределения твердой примеси в осесимметричных соплах. Изв. АН СССР, МЖГ, 1975, № 4.
2. Левшинский И. А., Барановский С. И., Тихонов Б. А., Эпштейн В. И. Исследование структуры двухфазного потока в плоском сопле. В кн. «Вопросы газотермодинамики энергоустановок», вып. 1. Харьков, 1974.
3. Циклаури Г. В., Данилин В. С., Селезнев Л. И. Адиабатные двухфазные течения. М., Атомиздат, 1973.

УДК 532.529.5:536.24

### К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В УЗКИХ КАНАЛАХ

А. Г. БЕЙНУЧОВ, А. Н. ХОЗЕ, А. Я. ЧЕРКАС

(Новосибирск)

Интенсификация теплопереноса при воздушно-испарительном охлаждении в значительной степени определяется организацией движения газожидкостных потоков в охлаждаемых каналах [1]. Эта задача представляет особый интерес в случае спутного восходящего движения газожидкостных потоков в относительно узких прямолинейных и криволинейных каналах прямоугольного сечения ( $\Delta \leq 2$  мм). В литературе практически отсутствуют данные по гидродинамике газожидкостных потоков в таких каналах. Поэтому цель настоящей работы — изучение в них режимов движения, амплитудно-частотных характеристик пленочного течения жидкости и потерь статического давления.

Криволинейные каналы выполнялись в виде двух коаксиальных цилиндров из полированного органического стекла с диаметром внутреннего цилиндра  $d_1 = 34, 50, 100$  и  $120$  мм; зазор между цилиндрами принимался  $\Delta = 0,2, 0,25, 0,35, 0,5, 0,6, 1, 2$  мм соответственно каждому диаметру.

Прямолинейные каналы выполнялись из полированных пластин органического стекла. Расстояние между пластинами устанавливалось при помощи калиброванных прокладок толщиной  $\Delta = 0,2, 0,25, 0,5, 1, 2$  мм; длина каналов определялась по условию  $l > 200\Delta$ . Ширина каналов во всех экспериментах была  $b = 124$  мм.

В качестве легкой фазы использовался воздух, жидкой фазы — вода, водные растворы глицерина ( $\nu = 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/сек), водные растворы олеата натрия ( $\sigma = 26,5 \cdot 10^{-3} - 72,4 \cdot 10^{-3}$  н/м).