В.М.Собин, А.И.Ершов

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ОДНО- И ДВУХФАЗНОГО ЗА КИУ ЧЕННОГО ПОТОКА В КОРОТХИХ ТРУБАХ

Одним из способов интенсификации процессов тепломассообмена в условиях внутренней задачи является гидродинамическое воздействие с помощью закрутки потока. При этом степень интенсификации полностью определяется структурой потока, которая изучена совершенно недостаточно, что препятствует разработке инженерных расчетов и объяснению физической стороны явления.

Отличительные особенности закрученного течения можно установить и объяснить, зная зекономерности распределения полей скоростей и давлений по сечению, которым и посвящена нестоящая работа. Исследования проводились в трубах относительной длиной L/d = 4-5, диаметром 30, 40 и 50 мм. В качестве закручивателей служили тангенциальные щели на начальном участке трубы, высотой равной диаметру при соотношении суммарной площади щелей и площади сечения трубы (критерий крутки потока) n = 1,0; 0,612; 0,383. Опыты проводились при изменении Re_2 , подсчитенного по средней осевой скорости воздуха, в пределах $(3,33+8,33)^{\circ}10^4$. Измерения осуществлялись в 4-х сечениях по высоте трубы, расположенных через ревные интервалы длины, по специсльно резработенной методике.

В результате обработки экспериментальных денных получены профили осевой и тангенциальной составляющих скорости и установлена автомодельность течения по скорости газа. Осевые скорости как в направлении течения, так и в зоне обратных токов мало меняются по длине трубы. Некоторое отклонение обнаружено только в первом сечении, где еще сказываются входные условия. Типичные безлазмерные профили для трех степеней крутки приведены на рис. Г. В зависимости от критерия крутки структура потока видоизменяется: для /2 = 1,0 зона обратных токов располагается на оси трубы, а для /2 = 0,383 она располагается в виде узкого кольца на некотором расстоянии от оси. Для /2=0,612 картина подобна предыдущей, но в узком кольце скорости имеют небольшие положительные значения. С увеличением крутки профиль осевой скорости заметно вытягивается у стенки.

Для тангенциальных скоростей установлено подобие профилей в

новичных сечениях трубы (рис.2), что согласуется с результатами ноготи /1/, полученными в трубах с завихритслями в виде скрученной лонты. По абсолютному значению максимальные тангенциальные норооти превосходят средние осевые соответственно в 2, 3 и 4 рапо для трех степеней крутки и с увеличением закрутки максимумы их счощныхся к стенке.

Коэффициенты сопротивления входа, выхода и всей трубы, подинитинные по средней осевой скорости, мало зависят от скорости, но и значительной мере от степени крутки. Коэффициенты сопротивтопия трения λ , вычисленные по средней осевой скорости, значитопы превосходят коэффициенты трения осевого потока. Однако им приводятся в соответствие, если принять, что изменение λ им пичальном участке трубы в закрученном потоке эналогично осевону при средней полной скорости, а также учесть, что истинная длиим линий тока закрученного потока больше длины трубы.

Установлено, что с увеличением крутки потока гидравлическое сопротивление растот быстрее, чем тангенциальная скорость. Поэточу о практической стороны наиболое приемломым и выгодным является применение устройств со степенью крутки потока порядка /2 = 1,0.

По данным исследований представляется возможным получить информацию о структуре турбулентности в закрученном потоке, в частнооти, о респределении коэффициента турбулентного обмене и касатальных напряжений по сечению трубы. Несмотря на большой интерес, ин эти вопросы пока однозначного ответа в литературе не имеется. Ток, например, в [2] коэффициент турбулентного обмена считается по зависящим от радиуса.

Запишем уравнение Рейнольдса осесимметричного потока для танченцияльной скорости, которое для течения жидкости вне области инакого подслоя на стенках трубы имеет вид:

$$\mathcal{U}\frac{\partial \mathcal{U}}{\partial x} = \frac{\mathcal{E}}{\rho} \left(\frac{\partial \mathcal{U}}{\partial z^{2}} + \frac{1}{z} \frac{\partial \mathcal{U}}{\partial z} - \frac{\mathcal{U}}{z^{2}} \right). \tag{I}$$

В этом уравнении дополнительно не учтена радиальная скорость п левой части. Переходя к безразмерным перемонным

$$\mathcal{U} = \frac{\mathcal{U}}{\mathcal{U}_{qp}}, \quad \mathcal{W} = \frac{\mathcal{W}}{\mathcal{U}_{qp}}, \quad Re = \frac{\mathcal{U}_{qp} \cdot R}{\sqrt{2}}, \quad z = \frac{z}{R}, \quad z = \frac{z}{R} \quad (2)$$

и учитывая, что при наличии подобия потока тангенциальную скорость можно представить как $\mathcal{W} = \mathcal{W}_{cf}/\mathcal{W}_{cc}(x)$, получим

133

 $\mathcal{U} \cdot \omega_{r_2} \frac{dW_{lm}}{dx} = \frac{\mathcal{E}}{\rho V} \frac{1}{R_e} \left(\frac{d\omega}{dz^2} + \frac{1}{z} \frac{d\omega}{dz} - \frac{\omega}{z^2} \right). \tag{8}$

Здесь в безразмерных переменных опущены штрихи.

Принимая для начальных сечений dim=const , что хорошо подтверждается опытом, по уравнению (3) можно сделать вывод в возрастании Е на этом участке. Дальше Е должно уменьшаться. Подобный вывод согласуется с результатами работы [3].

Уравнение (3) было решено численно, в результате чего получены распределения \mathcal{E} , касательных напряжений и длины пути поромешивания Прандтля. Для /2 = 1,0 типичные распределения представлены на рис. 3 и 4. Из рис.З видно, что \mathcal{E} возрастает с увеличением радиуса почти до самой стенки. Как известно, для осевого потока максимум \mathcal{E} достигается не половине радиуса трубы /47. Таким образом, область вблизи стенок в закрученном потоке особенно сильно турбулизована, а по центру трубы, наоборот, слабо турбулизована, что способствует интенсификации процессов тепломассообмена. Профили длины пути перемешивания и касательных напряжений также значительно отличаются от соответствующих для осевого потока. Расчеты, проведенные по определению сопротивления трения о использованием касательных напряжений, показали удовлетворительное совпадение с опытны и денными, что является подтверждением правомерности сделенных допущений.

Исследовения структуры двухфезного потока проводились в трубе дивметром 51 мм при /2 = 1,0 на системе воздух-вода. Подеча воды осуществлялась через кольцевую щель выше тангенциальных каналов. Перед каждым замером зонды продувались. Расходы воздуха и воды изменялись соответственно в пределах $Re_2 = (5,1+8,5)^{\circ}$ 10⁴ и $Re_{ro} = 68+410$. В районе оси трубы замеры проведены до $Re_{ro} = 635$.

Устеновлено, что в исследованном дивназоне орошений автомодельность по Re_2 при Re_{nn} = const текже сохраняется. Типичные профили осевой и тангенциальной скорости в первом и четвертом сечениях по длине трубы представлены на рис.5. Интересно отметить, что есля вблизи поверхности пленки осевые скорости воврастают с увеличением Re_{nn} , то в центре трубы первоначально идет слабое изменение профиля: вона обратных токов практически не меня-

134



лесь даже при $Re_{nn} = 635$. С удалением от входа наблюдалов. быстрое умензшение зоны обратных токов и при $Re_{nn} = 635$ они исчезала в 4-м сечении.

В отличие от осерой, тангенциельная скорость уменьшается по всему сечению и ее профили в первом приближении подобны. Одши ко вблизи поверхности пленки затухание скорости идет явно быотрым и максимальное отклонение для различных *Repo* достигает 20%.

Анализ полученных профилей сксрости позволяет заключить, что коэффициент турбулентного обмена газовой фазы двухфазного закрученного потока больше соответствующего коэффициента однофазного потока и увеличивается с увеличением Re_{nn} . Максимум коэффициента турбулентного обмена располагается вблизи пленки, что должно способствовать дальнейшей интенсификации процессов тепломассообмена в двухфазном закрученном потоке.

нинерси обо

U, U, W, W, - осевая, средняя осевая, тангенциальная и максимальная тангенциальная составляющие скорости; Л - критерий крутки; Х - расстояние вдоль трубы; 7, - текущее вначение радиуса и радиус трубы; 7, 7, - тенгенциальная и осевая составляющие непряжения трения; С - длина пути перемешивания.

Литература

I. Гостинцев Ю.А., Зайцев В.М., ИФЖ, 1971, 20, № 3. 2. Deissler R., Perlmutter M., Int. Heat Mass Transfez, 1960, 1,173 3. Рочино, Лэвэн, Трудн вмериканского общ.инж.-чех. Прикладная мөханика, 1969, № 3.

Шлихтинг Г., Теория пограничного слоя, Наука, М., 1969.

Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова, г. Минск

136