

В. Н. Посохин, Ю. Р. Кареева, Р. Г. Сафиуллин

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЯ В ПРОТОЧНОМ КАНАЛЕ

Ключевые слова: программный комплекс *Fluent*, численный метод, плоская струя, канал, проточная схема.

Численным методом определяются характеристики плоской турбулентной струи в канале, один торец которого заглушен, а другой открыт. Исследуется влияние параметра стеснения на основные геометрические и кинематические характеристики струи.

Keywords: software system *Fluent*, numerical method, flat jet, channel, flow scheme.

Characteristics of the flat turbulent jet in the channel which one end is plugged, and the other is opened are defined numerically. The influence of the constraint parameter to main geometric and kinematic characteristics is researched.

Рассматривается турбулентная плоская струя, истекающая из щели конечной ширины $b_0 = 0.0015; 0.00595; 0.031; 0.0615$ м с постоянной скоростью $u_0 = 52,9$ м/с в плоский канал высотой $H = 0.17$ м и длиной $l = 2.52$ м. Торцы, где размещена приточная щель, заглушен, противоположный торец открыт, то есть струя развивается по проточной схеме.

Задачи подобного плана, когда струя истекает в тупик, рассматривались в работах [1÷4]. Изучение основных характеристик таких течений необходимо при расчете контактных устройств теплообменных аппаратов, местных сопротивлений и пр. [5]

скорость направлена по нормали к границе -

$$\bar{u} = u_n; \quad \frac{dk}{dn} = 0; \quad \frac{d\varepsilon}{dn} = 0;$$

- твердые стенки: условие прилипания - $u = 0$;

условие непроницаемости - $\frac{du_n}{dn} = 0$;

- ось симметрии течения: скорость по нормали к оси симметрии равна нулю -

$$u_n = 0; \quad \frac{dk}{dn} = 0; \quad \frac{d\varepsilon}{dn} = 0.$$

Здесь $\frac{d}{dn}$ – производные по нормали к границе.

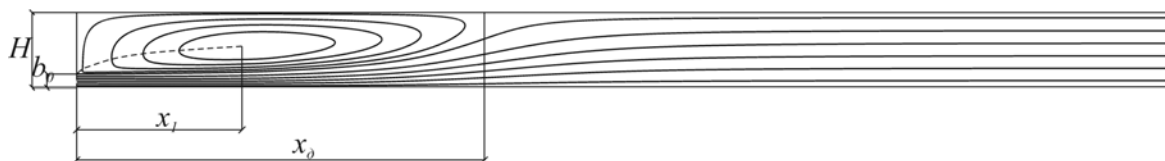
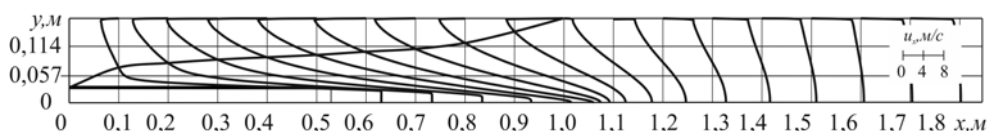


Рис. 1 - Линии тока течения в канале

Рис. 2 - Расчетные профили продольной компоненты скорости на участке x_0 :1) $b_0 = 0,0015$ м; 2) $b_0 = 0,00595$ м; 3) $b_0 = 0,031$ м; 4) $b_0 = 0,0615$ м.

Решение проводилось численно с помощью программного комплекса *Fluent*. Для замыкания системы уравнений турбулентного движения принята «стандартная» $k - \varepsilon$ модель. При моделировании пристенных пограничных слоев использовались пристеночные функции *Enhanced Wall Treatment* (расширенное пристеночное моделирование).

Граничные условия задачи:

- на истечении скорость равномерна и направлена по нормали к границе: $\bar{u}_0 = \text{const}$; $\bar{u}_0 = u_n$;

- открытый торец тупика – проницаемая граница: избыточное давление на границе - $\Delta p = 0$;

Расчетная область покрыта сеткой, минимальный размер ячеек в области пограничного слоя - $2,32 \times 10^{-7}$ м, максимальный размер - $6,4 \times 10^{-6}$ м.

На рис.1 представлены линии тока симметричной половины течения при значении параметра стеснения $\bar{b}_0 = b_0 / H = 0,182$. Во всех случаях отчетливо выделяется собственно струя, границы которой криволинейны на всем протяжении. Ширина струи увеличивается до некоторого сечения x_1 , после которого начинается зона разворота – струя распадается, формируя обратный поток. За пределом дальнего действия струи x_0 – поток равномерный, скорость его равна $L_0 / H = b_0 u_0 / H = u_0 \bar{b}_0$.

На рис.2 приведены расчетные профили продольной компоненты скорости. Там же по нулевым значениям этой компоненты нанесены границы, разделяющие прямой и обратный потоки.

На рисунках 3÷4 приведены графики изменения основных характеристик струи в безразмерном виде. В качестве масштабов приняты характеристики на истечении струи: осевая скорость $\bar{u}_x = u_x / u_0$, ширина струи $\bar{y}_{ep} = y_{ep} / b_0$, расход воздуха в сечениях струи $\bar{L}_x = L_x / L_0$, статического давления на оси струи $\bar{P}_{cm} = 2P_{cm} / \rho u_0^2$ (ρ – плотность воздуха). В качестве масштаба длины канала принята высота H , то есть $\bar{x} = x / H$.

На рисунке 3 представлены графики изменения осевой скорости и ширины струи по длине канала. Видно, что чем больше размер приточного отверстия, тем быстрее падает скорость. Сечение, где скорость принимает минимальное значение, характеризует дальность струи. Граница тупика изменяется криволинейно до сечения $\bar{x}_d$, где формируется равномерный поток. Далее, в этой зоне струя заполняет канал по всей высоте.

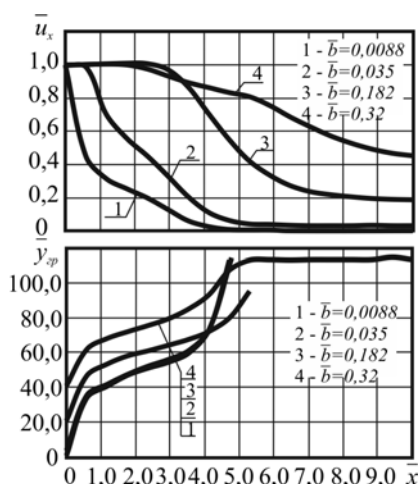


Рис. 3 - Изменение осевой скорости и ширины струи по длине канала

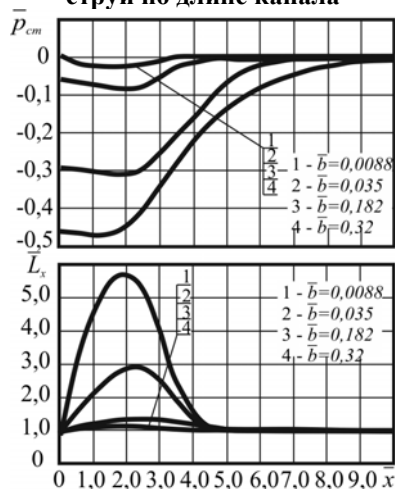


Рис. 4 - Изменение статического давления на оси струи и расхода в активной части струи

На рисунке 4 представлены графики изменения расхода в активной части струи и изменения статического давления на оси струи. В сечении $\bar{x}_1 = 2$ расход во всех случаях имеет максимальное значение. Это сечение определяет начало зоны разворота. Далее безразмерный расход падает до единицы и остается постоянным по всей длине.

Значения характерных координат $\bar{x}_1, \bar{x}_d$ определяются соотношениями:

$$\bar{x}_1 = -2,7b_0^2 + \bar{b}_0 + 0,32,$$

$$\bar{x}_d = -26,7b_0^2 + 11b_0 + 4,4.$$

Характер изменения статического давления $\bar{P}_{cm}$ на оси струи во всех случаях одинаков. На выходе из приточного насадка давление отрицательно, затем оно падает до минимального значения в сечении $\bar{x} \approx 2$. Далее $\bar{P}_{cm}$ возрастает до нуля и остается постоянным в зоне канала, где течение равномерное.

Литература

1. Бахарев В.А., Трояновский В.Н. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха. - М.: Профиздат, 1958. – 215 с.
2. Бахарев В.А., Трояновский В.Н. К вопросу о закономерности теснённых струй. // В сб.: "Теория и расчет вентиляционных струй". - Л: ЛИОТ, 1965. - с.173-183.
3. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Осесимметричная турбулентная струя в тупике. // ИВУЗ. Строительство, 2011, №3. - с.64-70.
4. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Численное исследование плоской струи, истекающей из щели конечного размера в тупик. // Известия КазГАСУ, 2012, №2 (20). - с.135-140.
5. Макушева О.С., Дмитриев А.В., Николаев А.Н. Контактные устройства с увеличенной пропускной способностью для тепломассообменных процессов // Вестник Казанского технологического университета. - 2010. - № 10. – С. 648-650.