

Л. М. Останин

ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ОДНОФАЗНОГО ПОТОКА В ВИХРЕВЫХ УСТРОЙСТВАХ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМИ ЗАВИХРИТЕЛЯМИ

Часть 3. Определение константы масштаба турбулентности и сравнение результатов расчёта с экспериментальными данными

Ключевые слова: аэродинамика, однофазный поток, гидравлическое сопротивление, вихревые контактные устройства, краевая задача, длина пути смешения.

Сформулирована краевая задача и получены аналитические формулы для расчёта окружной компоненты скорости и профиля давлений на основе уравнений Рейнольдса с использованием гипотезы Прандтля о длине пути смешения. При линейной аппроксимации радиальной скорости краевая задача решена с использованием метода Бубнова-Галёркина

Keywords: aerodynamics, single-phase stream, hydraulic resistance, vortical contact devices, regional problem, length of a way of mixture.

The regional problem is stated and analytical formulas for calculation district components of speed and a structure of pressure on the basis of Reynolds's equations with use of hypothesis Prandtlja about length of a way of mixture are received. At linear approximation of radial speed the regional problem is solved with use of method Bubnova-Galerkina.

Для определения константы C воспользуемся экспериментальными данными работы [1]. На рис. 1 приведена зависимость разрежения $\frac{P}{cW^2}$ в вихревом потоке при $r = 0,1$ от соотношения конструктивных коэффициентов $KU \frac{A}{K^2}$ (линия 1).

Сопоставляя расчётные данные с экспериментальными получаем зависимость константы масштаба турбулентности от коэффициента B , представленного на этом же рисунке (прямая 2). Таким образом, увеличение коэффициента B приводит к существенному уменьшению этой константы и уменьшению масштаба турбулентности.

На рис. 2 представлено изменение окружной компоненты скорости V_ϕ по радиусу вихревого потока. Из графика видно, что расчетные данные удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Профиль давлений в вихревом устройстве для различных коэффициентов крутки представлен на рис. 3. Графики иллюстрируют существенное влияние коэффициента крутки на профиль давлений: увеличение A в 1,768 раза приводит к увеличению разрежения на оси в три раза.

Проверим вышеупомянутую гипотезу о равенстве давлений $DP = P(r_m)$.

На рис. 4 прямая 1 описывает изменение $DP = P(r_m)$ вихревого потока при изменении $P(0)$. Прямая рассчитана при изменении параметра N от 25 до 1667. На этом же рисунке нанесены экспериментальные данные для тринадцати

конструкций ВКУ различной геометрии.

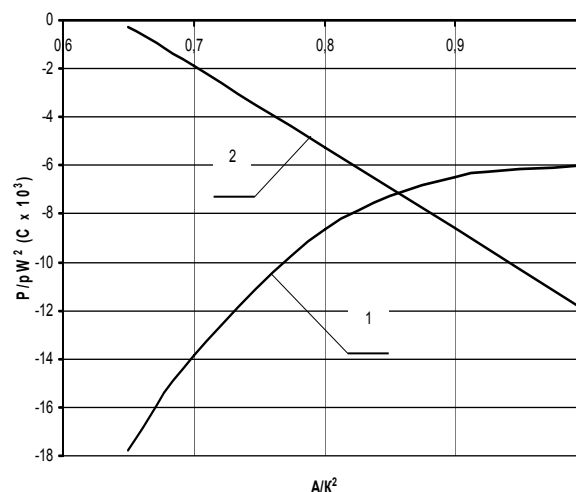


Рис. 1 - Зависимость разрежения в вихревом потоке $\frac{P}{cW^2}$ ($r = 0,1$) по данным работы [1]

(кривая 1) и константы масштаба турбулентности C (прямая 2) от коэффициента $B = 0,1 \frac{A}{K^2}$

Из рисунка видно, что гипотеза о равенстве давлений $DP = P(r_m)$ хорошо работает для конструкций с небольшим отношением коэффициентов $A/K^2 \leq 0,42$ и неприемлема для расчета вихревых устройств, когда это соотношение больше 0,46. Тем не менее, существенным является то, что отношение давлений $P(0)/D \cdot P$ для определенного типа конструкций есть величина постоянная (прямые 2-4).

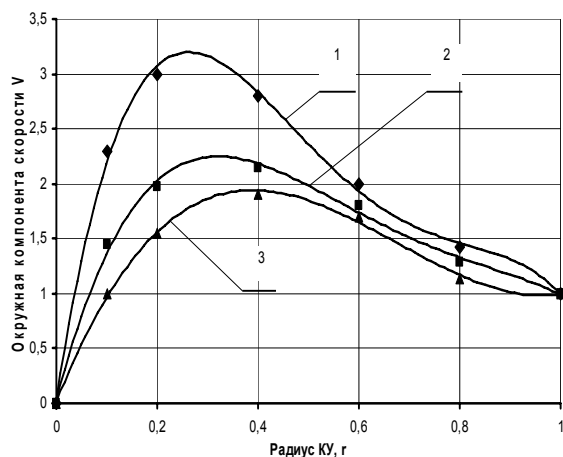


Рис. 2 - Зависимость окружной компоненты скорости V_ϕ от радиуса контактного устройства Γ : 1 - $A = 1,768$ $K = 1,6$ $C = 1,8 \cdot 10^{-3}$, 2 - $A = 1,408$ $K = 1,3$ $C = 5,8 \cdot 10^{-3}$, 3 - $A = 1,01$ $K = 1,0$ $C = 12 \cdot 10^{-3}$ Точки - экспериментальные данные [1]

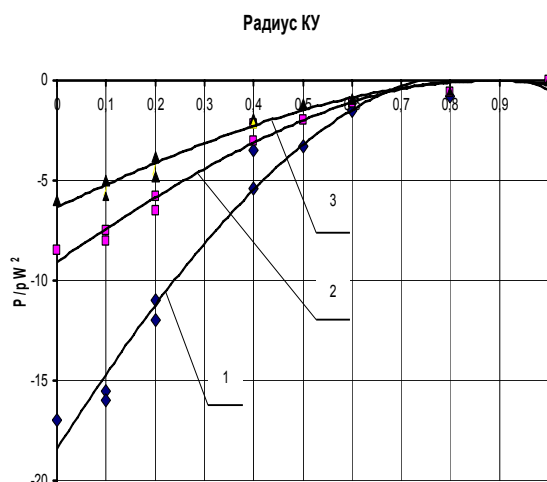


Рис. 3 - Профиль давлений в контактном устройстве при различных коэффициентах крутки A : 1 - $A = 1,768$ $K = 1,6$, 2 - $A = 1,408$ $K = 1,3$, 3 - $A = 1,01$ $K = 1,0$ Точки - нанесены экспериментальные данные [1]

Конструктивные параметры исследованных контактных устройств приведены в [2].

Для составления методики расчета гидравлического сопротивления вихревых устройств результаты эксперимента, приведенные на рис. 4 представим в виде зависимости $\frac{P(0)}{\Delta P} = f(A/K^2)$, которая изображена на рис. 5.

Из графика следует, что

$$\frac{P(0)}{\Delta P} = \begin{cases} 2,35; 0,32 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,42 \\ 2,94; 0,46 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,78 \\ 3,6; 0,88 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,94 \\ 4,79; 1,16 \leq \frac{A}{K^2} \leq 1,5 \end{cases} \quad (22)$$

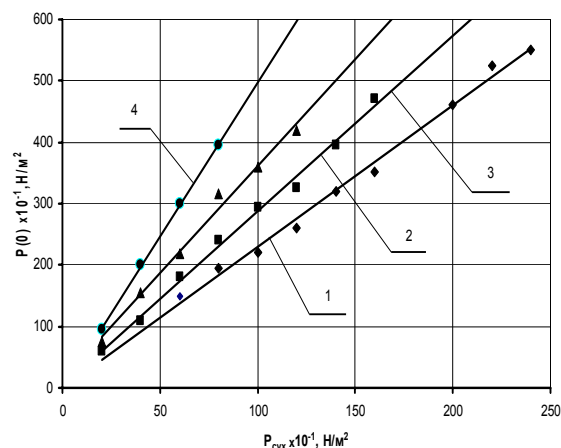


Рис. 4 - Взаимосвязь разрежения на оси КУ $P(0)$ и гидравлического сопротивления

$$\Delta P_{\text{сух}}: \quad 1 - 0,32 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,42; \quad 2 - 0,46 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,78; \quad 3 - 0,88 \leq \frac{A}{K^2} \leq 0,94; \quad 4 - 1,16 \leq \frac{A}{K^2} \leq 1,5$$

Из экспериментальных данных (22) [2] следует, что для исследованных вихревых устройств соотношение A/K^2 выступает как параметр устойчивости. При увеличении A или уменьшении K происходит радикальное перераспределение функций тока «катастрофическим» образом. При этом, как следует из рис. 2, 3 и результатов работы [3], распределения $V_\phi(r)$ и $P(r)$ являются

устойчивыми к возмущениям параметра A/K^2 .

При дополнении построенной теории эмпирическими соотношениями (22) методика расчёта гидравлического сопротивления неорошаемого ВКУ является законченной.

Методика расчёта сопротивления неорошаемого ВКУ заключается в следующем: по заданным значениям параметра A/K^2 из графика 2 рис. 1 определяют константу длины смещения C и вычисляют значение параметра $N = 0,1A/cK^2$. Из графика 1 рис. 1 определяют разрежение на оси вихревого потока и по формуле (25) рассчитывают ΔP .

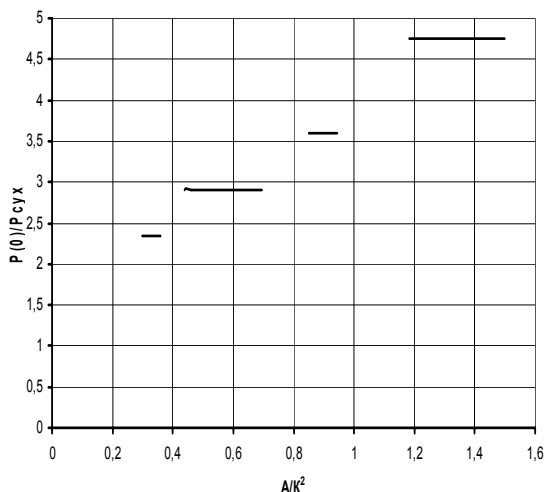


Рис. 5 - Зависимость отношения давления на оси КУ к сопротивлению контактного устройства $\frac{P(0)}{\Delta P}$ от параметра крутки A/K^2

Выводы

При значениях параметра $\frac{A}{K^2} \leq 0,42$ результаты теоретических исследований могут быть использованы для расчёта гидравлического

сопротивления ВКУ. При значениях параметра $\frac{A}{K^2} \geq 0,46$ для расчёта гидравлического сопротивления **ДР** результаты теоретических исследований необходимо дополнить эмпирическими соотношениями (25).

Литература

1. Шамсутдинов, А. М. Исследование турбулентного потока несжимаемой жидкости при плоском осевом стоке / А. М. Шамсутдинов, В. Е. Паймикин. // Гидродинамика одно- и двухфазных систем: Сб. Трудов ИТ СО АН СССР. - Новосибирск, 1982. - С. 9 - 13.
2. Останин, Л. М. Методы интенсификации работы вихревых контактных устройств / Л. М. Останин. // Вестник Казанского технол. ун-та. - Казань, 2010. - №11. - С. 71 - 75.
3. Гольдштик, М. А. Вихревые потоки / М. А. Гольдштик. - Новосибирск. : Наука, 1996. - 357 с.