

УДК 621.928.9

**КРИВОЛИНЕЙНЫЕ КАНАЛЫ В СИСТЕМЕ
С ЗАМКНУТЫМИ КОНТУРАМИ****Буров А.А., Карамушко А.В., Максимовская Е.С.***Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина***АННОТАЦИЯ**

В статье исследованы криволинейные каналы квадратного сечения с углом поворота газового потока $\varphi = \pi$. Проведен сравнительный анализ влияния замкнутых циркулирующих потоков на гидравлическое

сопротивление криволинейных каналов с различной кривизной. Показано влияние ускорения и торможения транзитного газового потока на коэффициенты местного сопротивления криволинейных каналов.

ВВЕДЕНИЕ

Система каналов с замкнутыми контурами [1] является основой многоканальной пылеуловителей (буранов). Результат анализа распределения общих потерь напора сквозного потока по элементам системы с замкнутыми контурами совпадает с оценкой интенсивности разрушения полубочаек циркулирующими слоями пыли. Ускоренный износ центральной полубочайки тонкодисперсной пылью согласуется с определяющими сопротивлением центральной бочайки и подтверждается опытом многолетней эксплуатации пылеуловителей с замкнутыми контурами. Первоочередной износ центральных элементов (полубочаек) системы с замкнутыми контурами делает ее надежной в работе [2].

Для решения задачи снижения энергозатрат в аппаратах с замкнутыми контурами общий коэффициент сопротивления системы каналов с замкнутыми контурами рассмотрен как сумма коэффициентов сопротивления её элементов:

$$\zeta_n = \zeta_0 + \sum_{i=1}^n \zeta_i, \quad (1)$$

где ζ_0 – коэффициент сопротивления центральной области системы, ζ_i – коэффициент сопротивления i -го канала, n – число каналов в системе.

Потери в колене складываются из потерь на трение, на образование парных вихрей и потерь из-за наличия местных отрывов потока. Последние потери имеют наибольшую относительную величину, вторые потери – меньшую и потери на трение составляют наименьшую долю от общих потерь. Для уменьшения общих потерь надо устранять или ослаблять прежде всего местные аэродинамические диффузоры, приводящие к отрывам потока. Затем следует уменьшить интенсивность вторичных токов, образующих парные вихри. И только после этого заботится об уменьшении сил трения.

По данным [3,4] общие потери напора потока в криволинейном канале не зависят от кривизны. При большой кривизне канала преобладают потери, связанные с отрывом потока, при малой – определяющими являются потери на трение. В проведенных ранее исследованиях [5,6] были рассмотрены вопросы взаимосвязи параметров газового течения при повороте потока. Если $\zeta_i = \text{const}$, то уравнение (1) имеет вид:

$$\zeta_n = \zeta_0 + \sum_{i=1}^n \zeta_i, \quad (2)$$

при этом: $\zeta_i \leq 1$ – сопротивление каналов с углом поворота $\varphi = \pi$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КАНАЛОВ

Для проверки допущения $\zeta_i \leq 1$ проведено математическое моделирование газового течения в криволинейных каналах с квадратным поперечным сечением и различными радиусами поворота потока.

Исследовались криволинейные каналы с квадратным поперечным сечением 100 на 100 мм. Каналы расположены таким образом, чтобы из них можно было создать систему с замкнутыми

контурами. Верхние каналы в системе будут нечётными, нижние – чётными каналами. Вход и выход газового потока также адаптирован к системе каналов с замкнутыми контурами. Расчет течения в каналах проводился одновременно для группы каналов. На входе задавалась одинаковая для всех каналов скорость на выходе полное давление. Геометрические характеристики расчётных моделей представлены на рисунке 1.

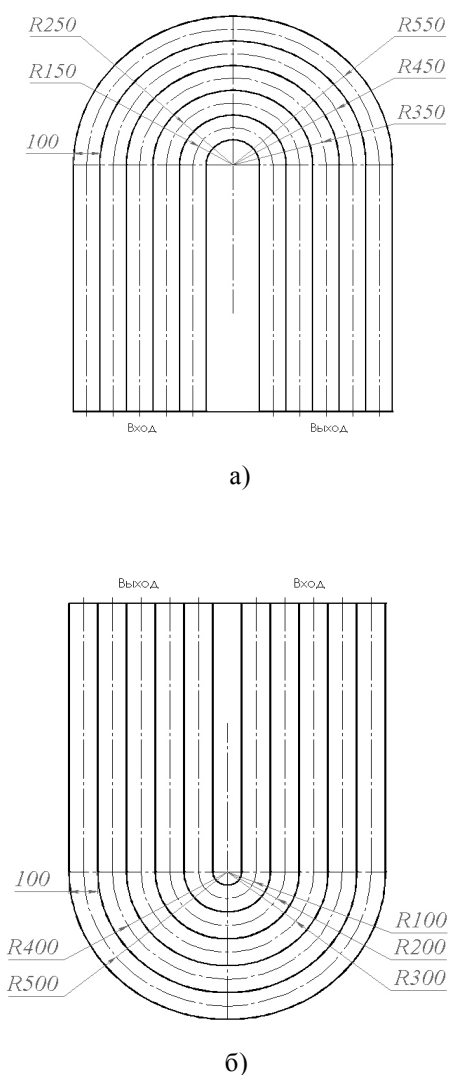


Рис.1 Криволинейные каналы: (а) верхние (нечётные); (б) нижние (чётные)

Средняя скорость на входе в каналы равнялась 10 м/с. В качестве текучей среды выбран воздух при нормальных условиях (давление и температура). На выходе было задано нормальное полное давление. Температура стенок каналов совпала с температурой газового потока и равнялась 20°C. Расчет велся в течение одной секунды реального времени. Прямолинейные стабилизирующие участки не учитывались при вычислении коэффициентов гидравлического сопротивления каналов.

Для нормальных условий коэффициенты сопротивления имеют значения представленные на рисунке 2.

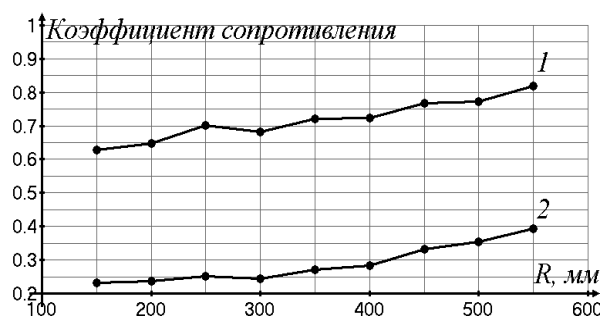


Рис.2 Сравнение коэффициентов гидравлического сопротивления: 1 – с учётом прямолинейных участков, 2 – без учёта

На графиках видно повышение коэффициента гидравлического сопротивления каналов с увеличением радиуса поворота газового потока. Ломаные линии графиков являются следствием зеркального расположения верхних и нижних криволинейных каналов и различному влиянию силы тяжести на газовый поток. При таком расположении каналов из них можно собрать систему с замкнутыми контурами и горизонтальной осью вращения газового потока. Верхние криволинейные каналы в системе имеют нечётную нумерацию, нижние – чётную.

СРАВНЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В КАНАЛАХ И СИСТЕМЕ

Система последовательно соединённых криволинейных каналов с замкнутыми контурами состоит из каналов одинакового поперечного сечения. Образующие спираль последовательно соединённые криволинейные каналы закручивают сквозной поток в центральной области системы. Закрученные осесимметричные системы рассматриваются в гидромеханике, как результат наложения на одномерное осесимметричное течение вращательного движения. Если вращение мало изменяет профиль скоростей, то результатом является слабо закрученное течение. При сильной крутке одномерного потока меняется профиль его осевых скоростей, в центральной зоне возникает, так называемые, возвратные течения, при котором радиальное распределение осевых скоростей имеет М - образный вид. То

есть в возвратном течении может возникнуть встречное течение.

При наличии в основном потоке одного возвратного течения, тангенциальные скорости потока распределяются по радиусу по закону вращения твёрдого тела (частота вращения не зависит от радиуса). Вне возвратного течения распределение тангенциальных скоростей подчиняется закону площадей (тангенциальная скорость обратно пропорциональна радиусу вращения).

По сравнению с тангенциальной и осевой скоростями величина радиальной составляющей скорости в центральной зоне незначительна, она заметна вблизи торцевых стенок. Радиальная скорость закрученного сквозного потока резко возрастает после его выхода из системы каналов в результате раскрытия закрученной свободной струи.

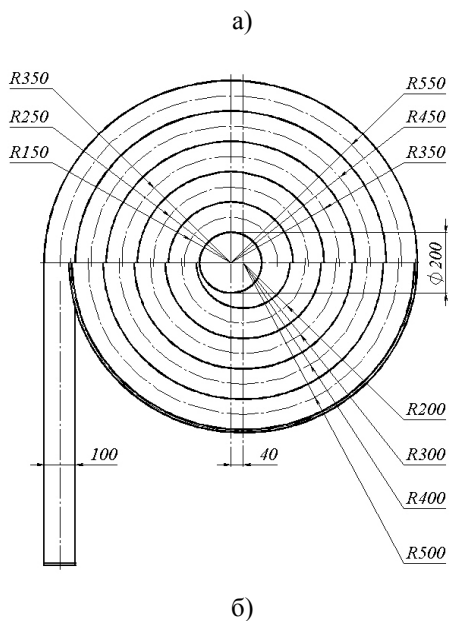
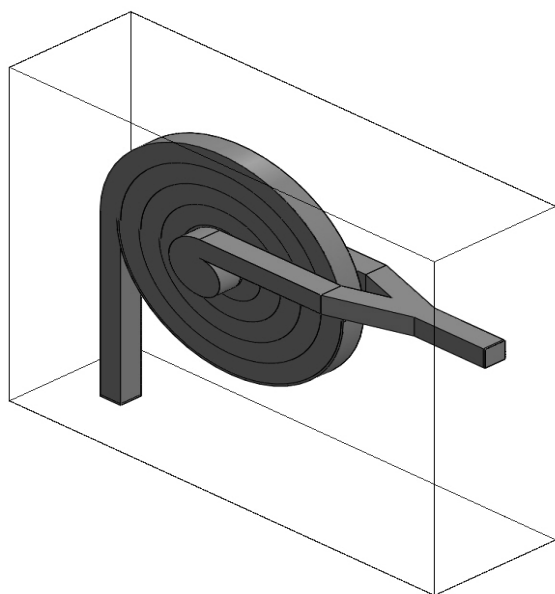


Рис.3 Система каналов с замкнутыми контурами: (а) расчётная модель системы; (б) геометрические размеры системы

Сложность общей картины течения сквозного потока в центральной области не позволяет достаточно точно определить аналитически и экспериментально коэффициент сопротивления, т.е. решить уравнение (2).

Для нормальных условий сравнение коэффициентов сопротивления криволинейных каналов и системы с замкнутыми контурами показано на рисунке 4.

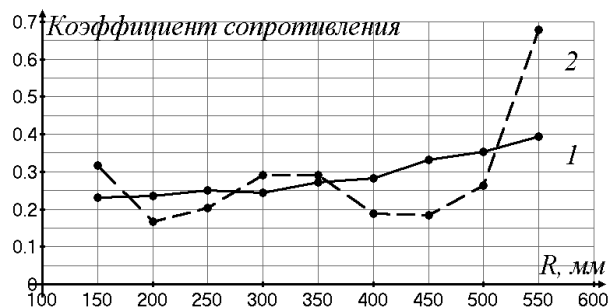


Рис.4 Сравнение коэффициентов гидравлического сопротивления: 1 – отдельно каналы; 2 – каналы в системе с замкнутыми контурами

Следует отметить, что расчёты велись без учёта шероховатости поверхностей образующих криволинейные каналы. Не учитывался также теплообмен между стенками и газом. Незначительные колебания значений коэффициентов сопротивления для несоединённых каналов увеличиваются при объединении их в систему. Козростает амплитуда колебаний.

Согласно опытным данным [2], при равенстве площадей поперечных сечений сквозного потока на входе, и односторонним выходом из системы каналов с замкнутыми контурами общий коэффициент сопротивления пропорционален квадрату числа каналов:

$$\zeta_n = (n - 1)^2 \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3), для предельного случая ($\zeta_1 = 1$), приобретает вид:

$$\zeta_0 = n^2 - 3n + 1 \quad (4)$$

При $n > 5$ потери напора сквозного потока в центральной области системы последовательно соединённых криволинейных каналов с замкнутыми контурами превышают 80% от общих потерь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные значения коэффициентов гидравлического сопротивления криволинейных каналов с различной кривизной поворота газового потока подтверждают справедливость допущения $\zeta_i \leq 1$ использованного в уравнении (2) для системы каналов с замкнутыми контурами. Резкие изменения коэф-

фициентов гидравлического сопротивления криволинейных каналов в системе с замкнутыми контурами является следствием ускорения и торможения сквозного газового потока. Возростание коэффициента сопротивления наблюдается в первом и последнем канаах системы с замкнутыми контурами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буров А.А. Воздушные течения в системе каналов с замкнутыми контурами / А.А. Буров, А.И. Буров, В.Я. Гамалич, Е.С. Максимовская // Сборник научных статей Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. — Киев: — 2010. — Выпуск №1(3) — С. 22 — 25.
2. Буров А.А. Моделирование надёжности и сопротивления пылеулавливающих аппаратов с замкнутыми контурами / А.А. Буров // Труды украинской академии экономических наук (Южный украинский центр) “Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии”. — Киев — Одесса, 1999. Вып. 1. — С. 199.
3. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. — Л.: Машиностроение, 1974. — 480 с.
4. Повх И.Л. Техническая гидродинамика. — Л.: Машиностроение, 1976. — 502 с.
5. Буров А.А. Криволинейное течение запылённого газа / А.А. Буров, А.И. Буров, В.Я. Гамалич, О.Н. Цабиев // Сб. тезисов докладов Международной научно-практической конференции “Вихревые и закрученные потоки: фундаментальные исследования и новые практические применения” — Киев, 2007. — С 80 — 83.
6. Буров А.А. Тепломассоперенос в криволинейном потоке вязкого газа / А.А. Буров, А.И. Буров, А.В. Карамушко // Сборник научных статей Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. — Киев: — 2009. — Выпуск №1(1) — С. 91 — 93.