

УДК 532.5.013.12

Наведено результати експериментального дослідження гідравлічного опору багаторядної системи заглиблень циліндричної форми з гострою кромкою на плоскій поверхні. Показано, що використання двох та п'ятирядних систем приводить до втрат тиску, що незначно перевищують втрати на плоскій поверхні. Збільшення кількості рядів заглиблень приводить до істотного зростання гідравлічного опору

Ключові слова: гідравлічний опір, система, багаторядне заглиблення, плоска поверхня

Представлены результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления системы многорядных углублений цилиндрической формы с острой кромкой на плоской поверхности. Показано, что использование двух- и пятирядных систем приводит к потерям давления, незначительно превышающих потери на плоской поверхности. Увеличение количества рядов углублений приводит к существенному росту гидравлического сопротивления

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, система, многорядное углубление, плоская поверхность

The results of experimental research of hydraulic resistance of the multi-row system of the dimples cylindrical form are presented with a sharp edge on a flat surface. It is shown that the use two and five rows systems results in the losses of pressure, insignificantly exceed losses on a flat surface. Multiplying the amount of rows of dimples is results in substantial growth of hydraulic resistance

Key words: hydraulic resistance, a system, a multi-row dimple, a flat surface

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ МНОГОРЯДНЫХ УГЛУБЛЕНИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А. А. Халатов

Доктор технических наук, профессор, заведующий отделом

Отдел высокотемпературной термогазодинамики
Институт технической теплофизики НАН Украины

ул. Желябова, 2а, г. Киев, Украина, 03057

Контактный тел.: 8 (044) 456-93-02

E-mail: khalatov@vortex.org.ua

В. Н. Онищенко

1. Введение

В различных технических устройствах актуальной является задача создания компактных устройств с минимальными энергетическими затратами. Традиционно применяемая интенсификация теплообмена (ребра, выступы различной формы, закрутка потока, турбулизация) обладает большими гидравлическими потерями, поскольку формируют вихревые структуры, большая часть которых диссипирует в основном потоке и не достигает поверхности теплообмена. В работе [1] показано, что поверхности, покрытые углублениями различной формы, формируют вихревые структуры,

направленные к поверхности канала, что в ряде случаев приводит к благоприятному соотношению между интенсификацией теплообмена и сопутствующими потерями давления. В частности, в работе Кубанского П.Н. [2] показано, что при обтекании поверхности, покрытой глубокими цилиндрическими углублениями, могут возникать особые условия обтекания, способствующие существенному снижению гидравлических потерь. Это обусловлено формированием циркуляционного течения внутри углубления и выходящих наружу вихревых «катков», по которым движется основной поток. Такие же «катки» создаются за счет периодического срыва вихрей с устьев цилиндрического углубления. Таким

образом, возникают условия, при которых трение качения может частично заменяться трением скольжения.

В настоящей работе выполнено экспериментальное исследование гидродинамических характеристик потока около плоской поверхности с многорядной системой цилиндрических углублений, расположенных в шахматном порядке с целью дальнейшего поиска поверхностей с минимальными гидравлическими потерями.

2. Экспериментальный стенд

Экспериментальный стенд представляет собой аэродинамическую трубу открытого типа (рис. 1). Воздух от центробежного вентилятора ВВД5 1 подается в ресивер 5 и далее через входное сопло 6 и участок стабилизации 7 поступает в экспериментальный участок 8. Ресивер, в котором установлена мелкоячеистая сетка 4, предназначен для «сглаживания» объемных пульсаций потока и выравнивания поля скорости потока по сечению канала. Профилирование входного сопла 6 по кривой Витошинского обеспечивает перед экспериментальным участком достаточно равномерный профиль скорости с толщиной пограничного слоя не более 1 мм. Дополнительная магистраль с поворотным затвором 2 предназначена для сброса избыточного воздуха в атмосферу и изменения расхода воздуха через экспериментальный участок.

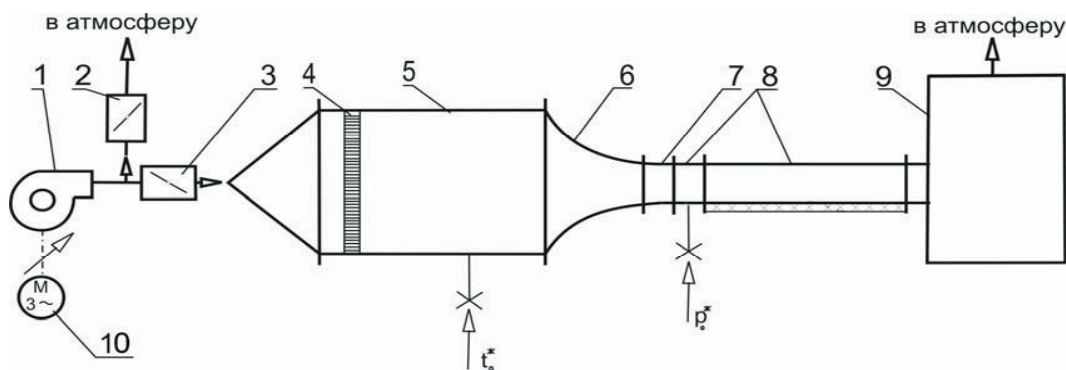


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- 1 – центробежный вентилятор; 2, 3 – поворотный затвор; 4 – мелкоячеистая сетка; 5 – ресивер; 6 – сопло Витошинского; 7 – участок стабилизации; 8 – экспериментальный участок; 9 – успокоитель с переходником; 10 – электродвигатель.
 p_0^* – полное давление; t_0^* – полная температура

Между соплом и экспериментальным участком располагаются прямолинейный участок стабилизации 7 длиной 42 мм. Измерительный участок, размеры которого (высота 34 мм, ширина 294 мм) соответствуют входным размерам экспериментального участка. В центре измерительного участка установлена трубка Пито, позволяющая по разнице полного P_0^* и статического $P_{ст}$ давлений при известной температуре потока t_0^* определить скорость потока на входе в экспериментальный участок.

Экспериментальный участок представлял плоскую поверхность с нанесенной системой цилиндрических

углублений относительной глубиной $h/D = 1,0$ (h – глубина углубления, мм; D – диаметр углубления, мм). Диаметр цилиндрического углубления составлял 4 мм. Продольный шаг углублений $S_x = 5,5$ мм, а поперечный $S_y = 4,5$ мм. Плотность заполнения углублениями на пластине составляла $\gamma = 60\%$. Пластина состояла из 33 рядов цилиндрических углублений с острой кромкой.

3. Результаты исследований

Эксперименты проведены при скорости набегающего потока $W_\infty = 4,3...12,7$ м/с. Коэффициент гидравлического сопротивления определялся из соотношения:

$$\xi = \frac{2\Delta P}{\rho W_\infty^2 \frac{x}{2H}}$$

где ΔP – перепад статического давления, Па; ρ – плотность потока, кг/м³; W_∞ – скорость в ядре потока, м/с; x – расстояние между датчиками статического давления вдоль по потоку, м; H – высота канала, м.

Результаты измерений статического давления по длине пластины с нанесенными цилиндрическими углублениями представлены на рис. 2, 3 и 4. Как видно из рис. 2, одиннадцать рядов цилиндрических углублений обеспечивают перепад статического давления,

аналогичный перепаду на гладкой поверхности. Увеличение количества рядов цилиндрических углублений от 17 до 33 рядов приводит к значительному росту статического давления, а следовательно, и сопротивления течению.

На рис. 2 – 4 линией 1 показано изменение статического давления, рассчитанное для турбулентного течения в начальном

участке канала, $\xi = \frac{0,344}{Re^{0,2}}$, [3]; линией 2 – развитого турбулентного течения в трубе, $\xi = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$, [4].

При увеличении скорости потока до $W_\infty = 8,9$ м/с (рис. 3), удовлетворительное согласование с эмпирическими данными показали двух и пятирядные системы цилиндрических углублений.

Дальнейший рост числа рядов цилиндрических углублений приводит к значительному росту статического давления.

С ростом скорости потока до $W_\infty = 12,7$ м/с, двух и пятирядные системы хорошо соответствуют с эмпирическими зависимостями 1 и 2 (рис. 4).

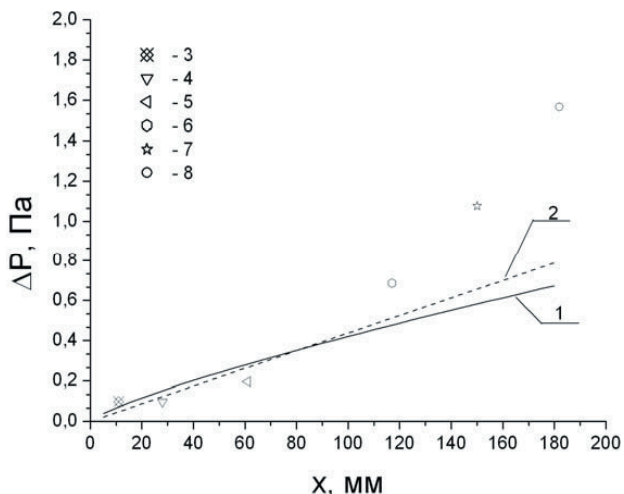


Рис. 2. Перепад статического давления по длине пластины для системы цилиндрических углублений на плоской поверхности $W_\infty = 4,3$ м/с
 1 – турбулентное течение в начальном участке;
 2 – развитое турбулентное течение в трубе; 3 – 2 ряда углублений; 4 – 5 рядов; 5 – 11 рядов; 6 – 21 ряд; 7 – 27 рядов; 8 – 33 ряда

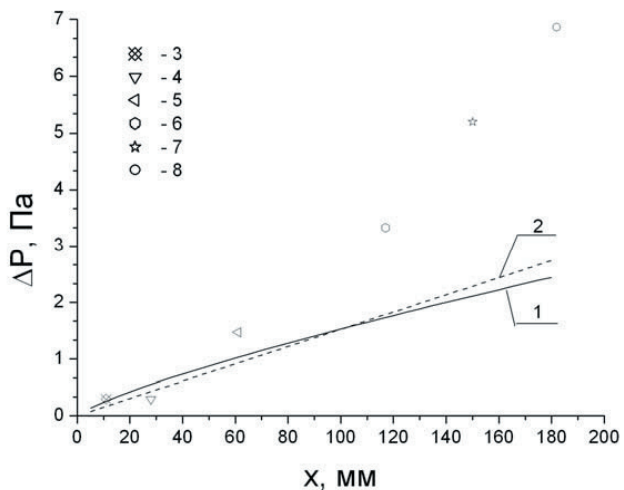


Рис. 3. Перепад статического давления по длине пластины для системы цилиндрических углублений на плоской поверхности $W_\infty = 8,9$ м/с
 1 – турбулентное течение в начальном участке;
 2 – развитое турбулентное течение в трубе; 3 – 2 ряда углублений; 4 – 5 рядов; 5 – 11 рядов; 6 – 21 ряд; 7 – 27 рядов; 8 – 33 ряда

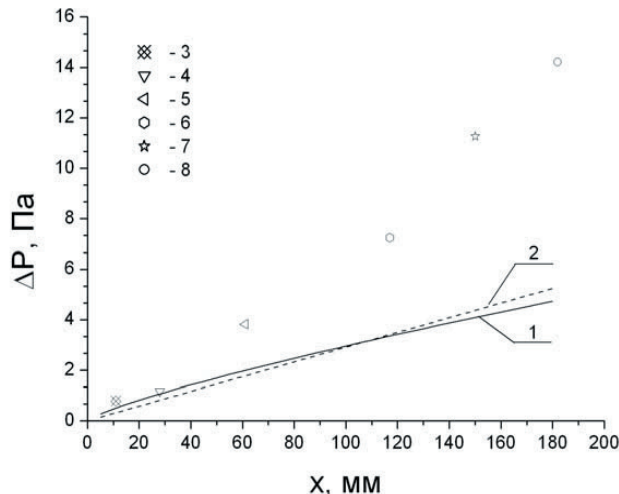


Рис. 4. Перепад статического давления по длине пластины для системы цилиндрических углублений на плоской поверхности $W_\infty = 12,7$ м/с
 1 – турбулентное течение в начальном участке;
 2 – развитое турбулентное течение в трубе; 3 – 2 ряда углублений; 4 – 5 рядов; 5 – 11 рядов; 6 – 21 ряд; 7 – 27 рядов; 8 – 33 ряда

На основании выполненного исследования можно сделать **выводы**:

1. Плоская поверхность, имеющая не более 5 рядов цилиндрических углублений с относительной глубиной $h/D = 1,0$ при низких скоростях набегающего потока (до $W_\infty = 12,7$ м/с) имеет сопротивление, идентичное гладкой поверхности. Такая поверхность может найти применение в устройствах с уменьшенной, по сравнению с гладкой поверхностью, массой.
2. Так как поверхности с многорядными цилиндрическими углублениями обеспечивают высокую интенсификацию теплообмена (2,0 и более [2]), а потери давления соответствуют плоской пластине, то они могут использоваться при разработке теплообменных систем с улучшенными теплогидравлическими характеристиками.
3. Дальнейшие исследования следует продолжить в области изучения теплообмена и гидродинамики за периодически-повторяющимися пятирядными системами углублений цилиндрической формы с острой кромкой.

Литература

1. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Теплообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. – Киев, 2005. – 500 с.
2. Кубанский П. Н. Поведение резонансной системы в потоке // Л.: Журнал технической физики, 1957. – Том 27, № 1. – С. 180 – 188.
3. Сукомел А. С., Величко В. И., Абросимов Ю. Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении газа в коротких каналах – М.: Энергия, 1979. – 216 с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя – М.: Изд. Наука, 1969. – 742 с.