УДК 532.552 :51

**В.О. Макаров**, специалист, Одес. гос. акад. стр-ва и архитектуры

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВСТАВОК-ЛЕКАЛ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ДИССИПАТИВНЫХ ЗОН В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ПОВОРОТЕ 90°

В.О. Макаров. Математичний опис геометрії вставок-лекал для заміщення дисипативних зон у потоці рідини при повороті 90°. Для зменшення втрат напору потоку рідини у повороті 90° застосовують різні форми вставок або лопаток. Як показали практичні результати, найбільш оптимальні вставки одержують методом візуальної діагностики структури потоку МВДСП. Представлено математичне описання геометрії дисипативних зон у потоці рідини при повороті 90°, що може бути використано для розробки вставок-лекал, які заміщають дисипативні зони.

В.О. Макаров. Математическое описание геометрии вставок-лекал для замещения диссипативных зон в потоке жидкости при повороте 90°. Для уменьшения потерь напора потока жидкости в повороте 90° применяют различные формы вставок или лопаток. Как показали практические результаты, наиболее оптимальные вставки получают методом визуальной диагностики структуры потока МВДСП. Представлено математическое описание геометрии диссипативных зон в потоке жидкости при повороте 90°, которое может быть использовано для разработки вставок-лекал, замещающих диссипативные зоны.

*V.O. Makarov.* The mathematical description of geometry of inserts-curves for replacing dissipative zones in liquid stream at turn 90°. To reduce the losses of a head liquid stream in rotation by  $90^{\circ}$  various shapes of inserts or blades are applied. As the practical results have shown, the most optimal inserts are obtained when the method of visual diagnostics of MVDSS stream structure is used. The paper presents a mathematical description of dissipative zones' geometry in which can be used to develop the inserts-curves replacing the dissipative zones.

Наиболее распространенным элементом проточных частей энергетического оборудования (котлы, турбины, нагнетатели и др.) являются повороты. В каждом повороте сосредоточены значительные потери напора, поэтому усовершенствование проточных частей поворотов 90° (колено) позволит в гидравлических и аэродинамических системах экономить энергию жидкости.

Наиболее наглядным и рациональным методом определения структуры потоков жидкости и выявления диссипативных зон является метод визуальной диагностики структуры потоков (МВДСП) [1], с помощью данного метода была выполнена диагностика структуры потока жидкости в повороте 90° (рис. 1).

Представленные изображения позволяют диагностировать причины высоких значений гидравлических сопротивлений  $\zeta$ =1,2 [2]. Зоны отрыва потока от стенок и вихри являются причиной потерь энергии, шума и вибрации. После устранения зон потерь энергии величина гидравлического сопротивления снижается до 0,23 при Re≈10<sup>5</sup>. Шум движущегося потока *Lp* в повороте при скорости *V*=20 м/с изменяется с 45 до 21 дБ (рис. 2). Тестирование характеристик поворота на гидравлическом стенде показало, что вставки, замещающие диссипативные зоны *Z*<sub>1</sub> и *Z*<sub>2</sub>, существенно улучшают гидравлические и акустические показатели.



Рис. 1. Диагностика потока жидкости в повороте 90° при турбулентном режиме



Рис. 2. Акустические (а) характеристики потока жидкости и характеристики коэффициента сопротивления (б) в повороте 90° до (1) и после (2) реконструкции

Проведение эксперимента на основе МВДСП — емкая как по времени, так и по материалам задача. По результатам выполненной диагностики структуры потока в повороте 90°, было разработано математическое описание геометрии диссипативных зон.

Вычисления геометрических пропорций вставок выполнялись относительно ширины канала *L*<sub>1</sub>, таким образом было выполнено три этапа:

1. Для проведения визуальных исследований изготовлена модель поворота 90° с шириной канала  $L_1 = 0,1$ м. Выполнена визуальная диагностика (см. рисунок 1), когда оптически активная жидкость, протекая через местное сопротивление (колено), визуально отображает оптимальную траекторию движения жидкости. В повороте при изменении направления движения среды, вдоль внутренней и внешней стенки происходит отрыв потока: наблюдаются две области диссипативных зон  $Z_1$  и  $Z_2$ .

2. Области потерь энергии потока жидкости  $Z_1$  и  $Z_2$  поделены на четыре участка, согласно месту расположения и характеру траекторий линий, ограничивающих их (рис. 3). Измерены расстояния от стенок трубопровода до критических точек (место, где кривая меняет характер) и до границ зон потерь энергии.

3. Аппроксимация траекторий линий тока в пределах пограничного слоя, т.е. линий, ограничивающих диссипативные зоны, позволяет определить их характер и найти соответствующие уравнения, описывающих геометрию этих линий.



Рис. 3. Диссипативные зоны в повороте потока 90°

На первом участке кривая, которая ограничивает диссипативную зону, описывается уравнением эллипса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \qquad (1)$$

где *x*, *y* — координаты граничной линии диссипативной зоны;

a, b — крайние точки кривой при x = 0 или y = 0. Соответственно для первого участка

$$\frac{x^2}{L_2^2} + \frac{y^2}{L_3^2} = 1$$

Расстояние до крайних точек первого участка  $L_2 = 0,08$  м,  $L_3 = 0,045$  м, тогда

$$L_2 = 0.8L_1,$$
 (2)

$$L_3 = 0,45L_1.$$
(3)

На втором участке кривая, которая ограничивает зону потерь энергии жидкости, также описывается уравнением эллипса. Согласно формуле (1) уравнение эллипса для второго участ-ка записывается в виде

$$\frac{x^2}{L_6^2} + \frac{y^2}{L_5^2} = 1$$

Расстояния до крайних точек второго участка  $L_5 = 0,02$  м,  $L_6 = 0,045$  м, при этом пропорции приобретают вид

$$L_5 = 0, 2L_1, \tag{4}$$

$$L_6 = 0,45L_1.$$
(5)

На третьем участке кривая описывается уравнением окружности. Для определения геометрических параметров вставки необходимо найти радиус окружности  $R_1$  (*BG* или *BC*). Треугольники *BKC* и *BEG* подобны (углы *BCK* и *BGE* равны, *BE*=0,5*BC*), следовательно,

$$\frac{\sqrt{c^2 + d^2}}{c} = \frac{R_1}{0, 5\sqrt{c^2 + d^2}},$$

$$R_1 = \frac{c^2 + d^2}{2c},$$
(6)

где *с* и *d* — катет и гипотенуза прямоугольного треугольника *BKC*, *c*=*BK*; *d*=*CK*. Расстояния до крайних точек третьего участка  $L_4 = 0,2$  м,  $L_7 = 0,12$  м. Формулы для определения геометрических параметров третьего участка принимают вид

$$R_{1} = \frac{(0,2L_{1} - 0,05L_{1})^{2} + (1,2L_{1})^{2}}{2(0,2L_{1} - 0,05L_{1})},$$
(7)

$$L_4 = 2L_1, \tag{8}$$

$$L_7 = 1, 2L_1.$$
 (9)

На четвертом — кривая ограничивает форму участка и описывается уравнением окружности. Для определения геометрических параметров диссипативной зоны необходимо найти радиус окружности  $R_2$  (*CM* или *MO*). Треугольники *GKC* и *CNM* подобны (углы *GCK* и *MCN* и *GKC* и *MNC* равны), следовательно,

$$\frac{R_1}{KC} = \frac{R_2}{CN}, R_2 = \frac{R_1}{KC}CN.$$

Расстояния до крайних точек четвертого участка  $L_8 = 0,035$  м,  $L_9 = 0,005$  м. Формулы для определения геометрических параметров четвёртого участка принимают вид

$$R_2 = \frac{R_1 0.35 L_1}{1.2 L_1},\tag{10}$$

$$L_8 = 0.35L_1, \tag{11}$$

$$L_{9} = 0,05L_{1}.$$
 (12)

В таблице приведены универсальные формулы (2)...(12) определения относительных размеров  $L_i$  и  $R_i$ , которые характеризуют геометрию вставок, замещающих диссипативные зоны.

№ уч.	Чертежи участков	Формулы, описывающие геометрию диссипативных зон
1	S A Y L3	$L_2 = 0,8L_1$ $L_3 = 0,45L_1$
2		$L_5 = 0, 2L_1$ $L_6 = 0, 45L_1$
3, 4	B $K$	$R_{1} = \frac{(0, 2L_{1} - 0, 05L_{1})^{2} + (1, 2L_{1})^{2}}{2(0, 2L_{1} - 0, 05L_{1})}$ $R_{2} = \frac{R_{1}0, 35L_{1}}{1, 2L_{1}}$ $L_{4} = 2L_{1}$ $L_{7} = 1, 2L_{1}$ $L_{8} = 0, 35L_{1}$ $L_{9} = 0, 05L_{1}$

Данные геометрии вставок-лекал поворота 90°

Вставки-лекала, для замещения диссипативных зон в повороте 90°, позволяют существенно изменить гидравлическое сопротивление  $\zeta$  с 1,2 до 0,23 при Re $\approx 10^5$ . При этом снижается шум *Lp* движущегося потока жидкости в повороте с 45 до 21 дБ при скорости *V*=20 м/с. Использование отношений геометрических параметров диссипативных зон позволяет унифицировать способ изготовления поворотов 90° со вставками-лекалами.

## Литература

1. Арсирий, В.А. Применение FST — технологии для решения задач энергосбережения / В.А. Арсирий // Ринок інсталяційний. — 1999. — № 4. — С. 16 — 17.

2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. гос. акад. стр-ва и архитектуры Петраш В.Д.

Поступила в редакцию 6 октября 2008 г.