

КРУГОВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЫЖОК

Ф.Х. Аубакирова, Б.Б. Шинибаев
ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент

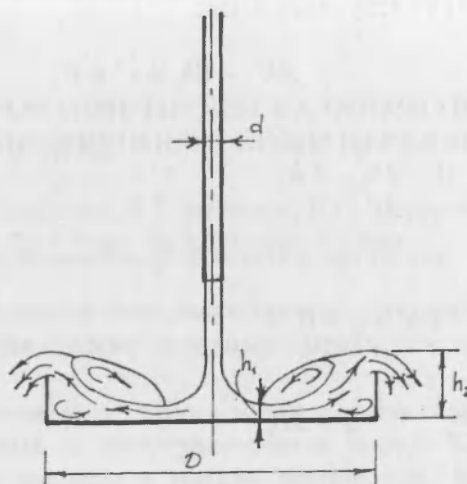
Во многих отраслях промышленности немаловажное значение имеют массообменные процессы. Известно также, что такие процессы в жидкостях протекают более интенсивно при перемешивании, аэрации. Эти явления характерны для так называемых участков сопряжения потоков. Наиболее интересны в этом плане известные гидравлические прыжки, представляющие собой остановившийся устойчивый валец, в котором перемешиваются массы жидкости. Такая форма сопряжения образуется при встрече бурного потока со спокойным. При этом поток в бурном состоянии имеет глубину меньшую, чем известная критическая глубина, соответствующая минимуму удельной энергии потока в сечении. Соответственно, глубина спокойных потоков больше критической.

Наиболее интенсивный массообмен происходит в совершенном гидравлическом прыжке, в котором отчетливо выражены все особенности этого явления. Гидравлические прыжки в условиях плоской задачи хорошо изучены. Для такой формы сопряжения потоков достаточно глубоко разработана теория, подтвержденная результатами большого количества экспериментальных работ. Плоской задачей называют задачу, в условиях которой удельные расходы жидкости одинаковы по всей ширине потока, т.е. каждая отдельная единица ширины русла пропускает в единицу времени одинаковое количество жидкости.

Во второй половине прошлого столетия внимание исследователей все больше стала привлекать плановая (пространственная) задача, основной отличительной особенностью которой является боковое сжатие потока перед участком сопряжения. Большое количество

исследований было посвящено таким пространственным формам сопряжения потоков, как сбойные течения, растекание бурного потока в широком русле с образованием косых гидравлических прыжков или прыжка с криволинейным в плане вальцом. Следует отметить, что эти формы сопряжения потоков, в основном, встречаются в открытых руслах, преимущественно в пределах гидротехнических сооружений [1].

Однако, на практике часто встречается растекание на горизонтальной твердой поверхности вертикально падающей струи. При этом в области падения струи образуется растекающийся во все стороны бурный поток со сжатой глубиной. Если на удалении от центра глубина потока больше критической, образуется круговой гидравлический прыжок. Такая задача в литературе не встречается, то есть это явление, несмотря на то, что широко распространено, еще не исследовано. Попробуем в данной работе определить основные параметры такого кругового гидравлического прыжка.



Предположим для простоты, что круговой гидравлический прыжок затоплен, то есть валец прыжка надвинут к струе в месте падения. Сжатая глубина при этом меньше критической. Критическая глубина в сжатом сечении может быть определена по формуле:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha_0 Q^2}{(\pi d)^2 g}};$$

где α_0 – коэффициент равный 1,05;
 Q – расход жидкости;
 d – диаметр струи;
 g – ускорение свободного падения.

Выберем два круговых сечения, перед прыжком и после него. Рассмотрим клиновидный отсек потока, опирающийся на единицу длины дуги второго сечения.

Если угол конусности мал, можно считать, что реакции на боковые поверхности отсека пренебрежимо малы. Тогда уравнение кругового прыжка, полученного из равенства, выражающего закон об изменении количества движения, можно записать в следующем виде:

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g \pi d h_1} + \frac{h_1^2 \pi d}{2} = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \pi D h_2} + \frac{h_2^2 \pi D}{2}, \quad (1)$$

где h_1 и h_2 – значения глубины до и после прыжка;
 D – диаметр кругового сечения соответствующего h_2 .

Уравнение (1) после преобразований можно представить так:

$$\frac{d}{D} \left(\frac{h_{kp1}^3}{h_1} + \frac{h_1^2}{2} \right) = \frac{h_{kp2}^3}{h_2} + \frac{h_2^2}{2}, \quad (2)$$

где h_{kp1} и h_{kp2} - значения критических глубин, определяемых по соответствующим двум сечениям значениям длины окружностей.

Последнее равенство можно представить в виде кубического уравнения относительно одной из глубин прыжка, например, h_1 :

$$\frac{d}{D} h_2 h_1^3 - (2h_{kp2}^3 + h_2^3) h_1 + \frac{2d}{D} h_{kp1}^3 h_2 = 0. \quad (3)$$

Запишем уравнение (3) в следующем виде:

$$A h_1^3 - B h_1 + C = 0,$$

$$\text{где } A = \frac{d h_2}{D}; \quad B = 2h_{kp2}^3 + h_2^3; \quad C = \frac{2d h_{kp1}^3 h_2}{D}$$

Последнее уравнение можно представить в приведенной форме:

$$h_1^3 - P h_1 + q = 0 \quad (4)$$

$$\text{где } P = \frac{D}{d} \cdot \frac{2h_{kp2}^3 + h_2^3}{h_2}; \quad q = 2h_{kp1}^3.$$

Для решения уравнения (4) применим метод Кардана [2]. По формуле Кардана, глубина перед круговым прыжком:

$$h_1 = u + v \quad (5)$$

$$\text{где } u = \frac{h_{kp1}}{\sqrt[3]{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{h_{kp1}^3} \right)^2 \left(\frac{2D}{3d} \cdot \frac{h_{kp2}^3 + h_2^3}{h_2} \right)^3}}}$$

$$v = \frac{h_{kp1}}{\sqrt[3]{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1}{h_{kp1}^3} \right)^2 \left(\frac{2D}{3d} \cdot \frac{h_{kp2}^3 + h_2^3}{h_2} \right)^3}}}$$

Подобным образом можно определить и вторую сопряженную глубину прыжка. Очевидно, в дальнейшем необходимо исследовать сопряжение наклонных струй со спокойными потоками.

Литература

- 1 Чугаев Р.Р. Гидравлика. -Л.: Госэнергоиздат, 1982.
- 2 Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. -Киев: Наукова думка, 1972.