ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО БЕЛОРУССИИ. Вып. 3
МИНСК 1973

Д. А. Козлов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДХОДА ПОТОКА К ВОДОПРИЕМНОМУ ОТВЕРСТИЮ НА ЕГО РАБОТУ

Классическая схема истечения из-под щита в горизонтальный канал, наиболее полно исследованная теоретически [1, 2], не позволяет учесть влияние на пропускную способность и остальные гидродинамические параметры направления потока при подходе к щиту, а также стенок, ограничивающих течение. При работе башенных водосбросов, донных водовыпусков, при водозаборе, где картина течения близка к изображенной на рис. 1, эти факторы являются решающими.

В связи с этим исследуется истечение жидкости из-под плоского щита по схеме (рис. 1), отличной от классической. Задача решается теоретически при тех же допущениях [3]: течение считается плоским, жидкость идеальной.

Характеризующий истечение коэффициент сжатия $\varepsilon = \dfrac{h_c}{a}$ будет функцией не только относительного открытия щита и его угла наклона $\beta\pi$, но и размеров подводящего тракта

$$\varepsilon = f\left(\beta, \frac{a}{l+a}, \frac{h}{a}, \frac{L}{a}\right),$$

где a — открытие щита; h_c — глубина в сжатом сечении; l — длина щита; h — глубина в подводящем канале; L — расстояние до ограничивающей стенки.

Используя принцип симметрии, рассматриваем только верхнюю половину схемы в плоскости течения z, изображенную сплошными линиями на рис. 1. Решение приводится для случая $\beta = 0{,}5$ ($\beta\pi = 90°$).

В плоскости комплексного потенциала W рассматриваемому течению соответствует бесконечная полоса ширины

$$q = v_0 h,$$

где v_0 — скорость подхода; q — расход.

Область W отображается на верхнюю полуплоскость переменного t с указанным на рис. 2 соответствием точек функцией

$$W = -\frac{q}{\pi}\ln(t-1) + qi. \tag{1}$$

Нахождение функции Н. Е. Жуковского, применяемой для решения задач теории струй:

$$\omega = \ln\frac{dW}{V_c dz} = \ln\frac{v}{V_c} - i\vartheta,$$

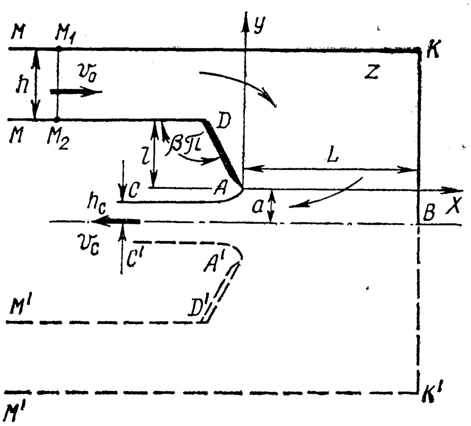

Рис. 1. Расчетная схема.

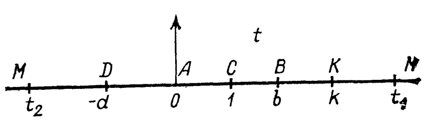

Рис. 2. Вспомогательная область.

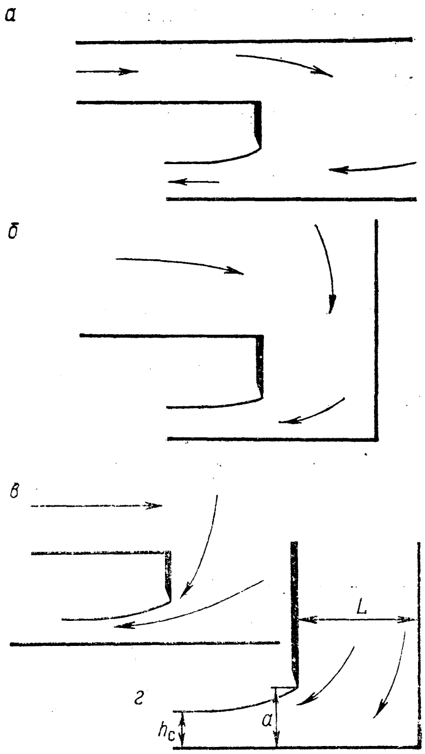

Рис. 3. Схемы частных случаев.

(где v — модуль вектора скорости; ϑ — ее угол наклона; v_c — скорость в сжатом сечении) сводится к решению смешанной краевой задачи. Применяя формулу Келдыша — Седова, находим искомую функцию ω в виде

$$\omega = \ln \frac{\sqrt{(t-b)(t-k)}\left(\sqrt{t(d+1)} + \sqrt{d(t-1)}\right)}{\sqrt{d+t}\left(\sqrt{t(b-1)} + \sqrt{b(t-1)}\right)\left(\sqrt{t(k-1)} + \sqrt{k(t-1)}\right)}. \tag{2}$$

Полученное выражение дает возможность связать скорость подхода v_0 со скоростью в сжатом сечении. Сечению MM соответствует $t=\infty$. Подставляя это значение в (2), получаем

$$\frac{v_0}{v_c} = \exp\left[\omega_{t=\infty}\right] = \frac{\sqrt{1+d} + \sqrt{d}}{\left(\sqrt{b-1} + \sqrt{b}\right)\left(\sqrt{k-1} + \sqrt{k}\right)}, \tag{3}$$

а уравнение постоянства расхода дает

$$\frac{h}{h_c} = \frac{v_c}{v_0}. \tag{4}$$

При найденных функциях $W(t)$ и $\omega(t)$ характерные геометрические размеры течения могут быть найдены из соотношения

$$z = \frac{1}{v_c} \int \exp\left[-\omega\right] \frac{dW}{dt}\, dt. \tag{5}$$

Интегрируя (5) на участке DA $(-d \leqslant t \leqslant 0)$ и используя значения функций (1) и (2), найдем длину щита l:

$$\frac{l}{h_c} = -\frac{1}{\pi}\int\limits_{-d}^{0} \frac{\sqrt{d+t}\left(\sqrt{-t(b-1)}+\sqrt{b(1-t)}\right)\left(\sqrt{-t(k-1)}+\sqrt{k(1-t)}\right)}{\sqrt{(b-t)(k-t)}\left(\sqrt{-t(d+1)}+\sqrt{d(1-t)}\right)} \times$$

$$\times \frac{dt}{t-1}. \tag{6}$$

Пусть M_1M_2 является эквипотенциалью, т. е. $\varphi M_1 = \varphi M_2$; тогда из (1) $t_1 = 2 - t_2$. Если выбрать t_2 достаточно малым, чтобы $M_2D > (3-5)h$, то можно приближенно считать эквипотенциаль M_1M_2 вертикальной прямой и найти расстояние до ограничивающей стенки L:

$$\frac{L}{h_c} = \frac{M_1K}{h_c} - \frac{M_2D}{h_c} = \frac{1}{\pi}\int\limits_{k}^{t_1} \exp[-\omega]\frac{dt}{t-1} - \frac{1}{\pi}\int\limits_{-d}^{t_2} \exp[-\omega]\frac{dt}{t-1}, \tag{7}$$

а также ее длину BK

$$\frac{BK}{h_c} = \frac{1}{\pi}\int\limits_{b}^{k} \exp[-\omega]\frac{dt}{t-1}. \tag{8}$$

Из геометрических соображений открытие щита выразится так:

$$\frac{a}{h_c} = \frac{BK}{h_c} - \frac{l}{h_c} - \frac{h}{h_c}. \tag{9}$$

Используя (4), (6), (7), (8), (9), можно найти коэффициент сжатия $\varepsilon = \frac{h_c}{a}$ и безразмерные геометрические параметры, характеризующие истечение:

$$\frac{h}{a} = \varepsilon\frac{h}{h_c}, \quad \frac{a}{l+a} = \frac{1}{\varepsilon\frac{l}{h_c}+1}, \quad \frac{L}{a} = \varepsilon\frac{L}{h_c}. \tag{10}$$

Задавшись значениями параметров b, d, k, входящих в решение, по полученным формулам находим соответствующие им значения параметров $\frac{h}{a}$, $\frac{L}{a}$, $\frac{a}{l+a}$ и величину ε. Используя (2) и уравнение Бернулли, можно получить также распределение скорости и давления по щиту и стенкам, ограничивающим течение.

Из рассмотренной общей схемы (рис. 1) следует целый ряд частных случаев. Полагая в приведенном решении $b=k$, получаем расчетные формулы для случая, приведенного на рис. 3, a, т. е. для аналогичной схемы без учета влияния стенки BK $\left(\frac{L}{a} = \infty\right)$.

Если $k=\infty$, то получим расчетные формулы для случая, приведенного на рис. 3, *б*, т. е. без учета влияния на характер истечения границы MK $\left(\frac{h}{a}=\infty\right)$.

Положив $b=k=\infty$, получим решение схемы, представленной на рис. 3, *в* $\left(\frac{L}{a}=\infty,\ \frac{h}{a}=\infty\right)$.

Если приравнять $k=d=\infty$, получим схему, изображенную на рис. 3, *г*. В этом простейшем случае интегралы в формулах легко вычисляются. Получается, что при значительном удалении ограничивающей стенки $\frac{L}{a}>10$ ее влияние на истечение не сказывается и коэффициент сжатия для малых относительных открытий $\frac{a}{l+a}<0{,}1$ получается равным $\varepsilon_0=0{,}611$, что совпадает с известным результатом И. Е. Жуковского и Р. Мизеса [2]. По мере уменьшения расстояния до стенки L коэффициент сжатия ε уменьшается (табл. 1).

Таблица 1

$\frac{L}{a}$	20	10	6	4	3	2	1,5	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,35
$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$	1	0,996	0,992	0,980	0,972	0,953	0,925	0,864	0,809	0,725	0,663	0,579	0,520

Литература

1. *О. Ф. Васильев, В. М. Лятхер.* Гидравлика. Сб. «Механика в СССР за 50 лет». М., 1970. **2.** *R. Mises.* Berechnung von Ausfusund uberfallzahlen. Zeitschrift des vereines Deutscher Ingeneure, d. 61, № 21, 1917. **3.** *М. И. Гуревич.* Теория струй идеальной жидкости. М., 1961.