

## ОЧЕРТАНИЕ СОПРЯГАЮЩЕГО УЧАСТКА ПРИ ПОВОРОТЕ ПОТОКА

Сопряжение прямолинейных участков потока при его повороте обычно осуществляется по дуге окружности, однако она не является гидравлически оптимальной сопрягающей кривой, соответствующей форме крайних струй при повороте потока. При значительных скоростях движения важно знать гидравлически оптимальное очертание сопрягающего участка во избежание отрыва или навала потока, зон пониженного давления, кавитации, размыва или отложения наносов, плавного движения плавающих предметов на повороте (судоходство, лесосплав). Причем изменение направления может происходить как в плане (например, обтекание углов, выступов, поворот русла), так и в вертикальной плоскости (например, на быстротоке или при сопряжении прямолинейной вставки низовой грани водослива практического профиля с дном нижнего бьефа) [1].

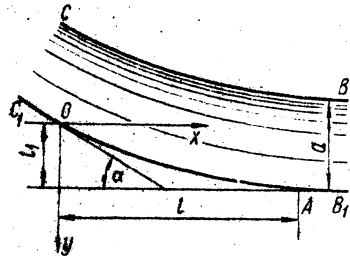


Рис. 1. Схема течения.

В данной работе ставится задача вычислить координаты сопрягающего участка при повороте потока на угол  $\alpha$  (рис.1). На некотором расстоянии перед и за поворотом движение считается плавноизменяющимся. Если пренебречь потерями энергии в пределах поворота, то за расчетную схему может быть принято движение идеальной жидкости. Разработанные для исследования таких задач методы [2], основанные на теории функций комплексного переменного, позволяют вычислить очертание крайних струй OA и CB на участке поворота потока.

Решение ищется во вспомогательной области, в качестве которой выбрана верхняя полуплоскость комплексного переменного  $t = \xi + i \eta$ . Принято следующее соответствие точек: точка O соответствует  $t = 0$ , точка  $t = 1$ , сечению  $CC'$ ,  $t = -c$

и сечению  $ВВ' t = \infty$ . Конформное отображение полуплоскости  $\text{Im} t > 0$  на область изменения комплексного потенциала течения  $W$  осуществляется функцией

$$W = -\frac{q}{\pi} \ln(t+c), \quad (1)$$

где  $q = v_c a$  — удельный расход;  $c$  — параметр, связанный с размером  $a$ .

$$\text{Функцию Н.Е.Жуковского } \omega = \ln \frac{1}{u_0} \frac{dW}{dz} = \ln \frac{u}{u_0} - i\theta$$

( $u_0$  — скорость в точке  $O$ ,  $\theta$  — угол наклона вектора скорости  $u$ ) отыскиваем по известным значениям ее действительной и мнимой частей на границах. Пользуясь формулой Келдыша—Седова для верхней полуплоскости получаем

$$\omega = -\frac{\sqrt{t(t-1)(t+c)}}{\pi} \left[ \ln \frac{v_c}{u_0} \int_{-\infty}^{-c} \frac{d\xi}{\sqrt{\xi(\xi-1)(-\xi-c)(\xi-t)}} + \right. \\ \left. + \frac{\alpha}{\pi} \int_{-c}^0 \frac{d\xi}{\sqrt{\xi(\xi-1)(\xi+c)(\xi-t)}} \right]. \quad (2)$$

Так как форма границы СВ определяется в основном очертаением участка  $OA$ , то его форму найдем без учета влияния границы СВ. Тогда параметр  $c = \infty$ , выражение (1) упрощается ( $W=t$ ), а соотношение (2) после вычисления интегралов принимает вид

$$\omega = \frac{2\alpha}{\pi} \ln(\sqrt{t} + \sqrt{t-1}). \quad (3)$$

С помощью зависимости

$$z = \int \frac{dz}{dW} \frac{dW}{dt} dt \quad (4)$$

осуществляется переход на плоскость течения  $z = x - iy$ . В частности, получаем выражение для координат участка сопряжения  $AO$  ( $0 < t < 1$ )

Таблица 1. Безразмерные координаты сопрягающего участка  $Y = f(X)$  при повороте на угол  $\alpha \in 90^\circ$ .

$\alpha$ , град	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
X						
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,090	0,094	0,103	0,115	0,141	0,189
0,10	0,173	0,181	0,192	0,208	0,244	0,305
0,15	0,251	0,260	0,272	0,295	0,331	0,394
0,20	0,324	0,331	0,348	0,372	0,408	0,465
0,25	0,391	0,400	0,417	0,442	0,478	0,531
0,30	0,458	0,469	0,483	0,504	0,540	0,590
0,35	0,518	0,528	0,544	0,566	0,599	0,642
0,40	0,578	0,586	0,600	0,620	0,648	0,690
0,45	0,632	0,640	0,652	0,670	0,697	0,733
0,50	0,681	0,691	0,700	0,718	0,742	0,775
0,55	0,732	0,738	0,748	0,763	0,784	0,809
0,60	0,776	0,782	0,791	0,804	0,822	0,842
0,65	0,817	0,823	0,831	0,841	0,857	0,875
0,70	0,856	0,860	0,867	0,876	0,888	0,902
0,75	0,892	0,895	0,899	0,906	0,915	0,926
0,80	0,922	0,926	0,929	0,934	0,940	0,948
0,85	0,950	0,952	0,954	0,958	0,962	0,966
0,90	0,972	0,973	0,974	0,976	0,980	0,982
0,95	0,989	0,990	0,990	0,991	0,992	0,993
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Таблица 2. Безразмерные координаты сопрягающего участка  $X = f(Y)$  при повороте на угол  $\alpha \geq 90^\circ$

$\alpha$ , град	$90^\circ$	$105^\circ$	$120^\circ$	$135^\circ$	$150^\circ$	$165^\circ$
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,005	-0,005	-0,028	-0,073	-0,180	-0,583
0,10	0,019	-0,006	-0,046	-0,122	-0,300	-0,880
0,15	0,034	0,000	-0,054	-0,160	-0,388	-1,130
0,20	0,054	0,012	-0,056	-0,181	-0,446	-1,315
0,25	0,075	0,026	-0,052	-0,194	-0,492	-1,456
0,30	0,097	0,048	-0,043	-0,196	-0,526	-1,564
0,35	0,125	0,070	-0,023	-0,191	-0,544	-1,640
0,40	0,153	0,095	-0,002	-0,177	-0,545	-1,684
0,45	0,188	0,126	0,025	-0,155	-0,533	-1,698
0,50	0,224	0,160	0,058	-0,126	-0,507	-1,682
0,55	0,265	0,200	0,096	-0,089	-0,466	-1,635
0,60	0,310	0,241	0,143	0,043	-0,416	-1,566
0,65	0,356	0,295	0,195	0,015	-0,349	-1,480
0,70	0,410	0,351	0,250	0,082	-0,270	-1,327
0,75	0,472	0,410	0,320	0,157	-0,186	-1,182
0,80	0,536	0,484	0,400	0,250	-0,045	-0,965
0,85	0,606	0,563	0,488	0,364	0,106	-0,690
0,90	0,680	0,657	0,600	0,496	0,292	-0,380
0,95	0,799	0,777	0,742	0,680	0,535	0,125
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{u_0} \int_0^t \cos \theta \, dt; \\ y &= \frac{1}{u_0} \int_0^t \sin \theta \, dt, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $\theta$  — угол касательной к АО с осью  $x$ ; определяется из (3) следующим образом:

$$\theta = - \frac{2\alpha}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1-t}{t}}. \quad (6)$$

Длина сопрягающего участка  $l$  и размер  $l_1$  находятся из (5);

$$\left. \begin{aligned} l &= \frac{1}{u_0} \int_0^1 \cos \theta \, dt; \\ l_1 &= \frac{1}{u_0} \int_0^1 \sin \theta \, dt. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

По формулам (5), (6), (7) на ЭВМ Минск-32 вычислены координаты сопрягающего участка АО при повороте потока на произвольный угол  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 180^\circ$ ). Полученные результаты представлены в табл. 1, 2 в безразмерном виде  $X = \frac{x}{l}$  и

$$Y = \frac{y}{l_1}, \text{ где } l_1 = l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \text{ если } \alpha \leq 90^\circ, \text{ или } l_1 = l \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \text{ если } \alpha \geq 90^\circ.$$

Так как при развороте потока на угол  $\alpha = 180^\circ$  длина  $l$  равна нулю, то в табл. 3 дано очертание криволинейного участка поворота в безразмерных координатах  $\frac{x}{l_1}$  и  $\frac{y}{l_1}$ .

Таким образом, зная две исходные величины: угол поворота потока  $\alpha$  и длину сопрягающего участка  $l$ , достаточную для обеспечения плавного поворота потока, где  $l = f(\operatorname{Fr})$  (эту

Таблица 3. Безразмерные координаты сопрягающего участка

при повороте на угол  $\alpha = 180^\circ$

$\frac{y}{l_1}$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$\frac{x}{l_1}$	0	0,120	0,173	0,212	0,242
0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
0,319	0,314	0,308	0,300	0,285	0,265

0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
0,265	0,285	0,300	0,308	0,314
0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
0,242	0,212	0,173	0,120	0

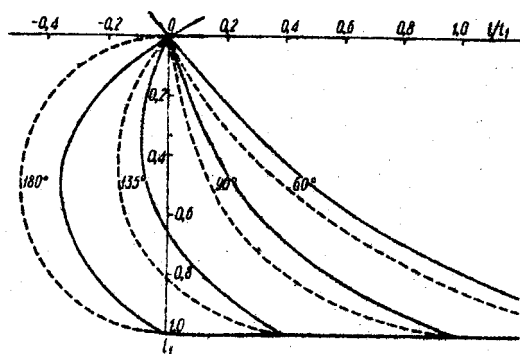


Рис. 2. Сопрягающие кривые при повороте потока на угол  $\alpha = 180^\circ, 135^\circ, 90^\circ, 60^\circ$  (сплошные линии — гидравлически оптимальное сопряжение, штриховые — сопряжение по дуге окружности).

связь необходимо установить экспериментальным путем), с помощью безразмерных координат (табл.1--3) строим очертание грани на участке поворота потока. Из рис.2 видно, что гидравлически оптимальное очертание существенно отличается от дуги окружности, например при  $\alpha = 180^\circ$  разница достигает 0,36 радиуса закругления.

### Л и т е р а т у р а

1. Орлов В.Т. Движение жидкости на быстротоке, состоящем из двух участков разного уклона. — "Изв. вузов. Энергетика", 1968, № 12.
2. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. М., 1961.

**Г.Г. Богданов**

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В БЪЕФАХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОДОЛЬНО-ПОЙМЕННЫХ НАСЫПЕЙ

Важнейшей задачей развития водного хозяйства СССР является комплексное решение любой водохозяйственной проблемы. При решении этих проблем часто возникает необходимость проектирования плотин. Такого рода задачи практически возникали перед проектировщиками в связи с расчетами ГЭС Сибири и Дальнего Востока, а также в Белоруссии в связи с освоением пойменных земель для жилищного строительства, например в Гомеле [1].

Все это связано с пересечением поймы реки не только поперек ее, но и вдоль — продольно-пойменной дамбой или продольно-пойменной насыпью при вынужденном трассировании линии дороги долинным ходом в горных условиях.

Если такая дамба будет отсекать незначительную часть поймы с небольшим стоком с полевой стороны, то ее можно вы-