

## ГИДРАВЛИКА

Б. О. ЕГИАЗАРЯН

О РАСЧЕТЕ ОТРАЖЕНИЯ ВОЛНЫ ОТ МЕСТА РЕЗКОГО  
ИЗМЕНЕНИЯ СЕЧЕНИЯ КАНАЛА

На практике часто приходится сталкиваться с волной, распространяющейся в канале с изменяющимися по длине характеристиками (ширина, глубина, форма сечения, уклон дна). При внезапном (во всяком случае не слишком медленном) изменении сечения канала волна отражается от створа изменения. Если изменение конечное, то отражение частичное: часть волны (преломленная волна) продолжает распространяться дальше, а другая часть (отраженная волна), отражаясь от места изменения сечения, распространяется в обратном направлении и накладывается на первоначальную волну в канале.

Для определения коэффициента отражения волны от места изменения сечения в горизонтальном канале имеются много выражений, предложенных разными авторами (например И. В. Егиазаровым, С. А. Христиановичем и др.). В частности, И. В. Егиазаров [1], применяя условие равновесия

$$z_1 = z_2 + z_3 \quad (1)$$

и условие неразрывности

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 - \Delta Q_3 \quad (2)$$

в случае распространения волны по поверхности находящейся в состоянии покоя воды или в случае, когда можно пренебречь потерями энергии потока на месте изменения сечения канала, приходит к следующим выражениям для коэффициентов отражения ( $r$ ) и преломления ( $s$ ):

$$r = \frac{1 - \beta_2}{\beta_2 + \beta_3} \quad \text{и} \quad s = \frac{1 + \beta_3}{\beta_2 + \beta_3} \quad (3)$$

причем удовлетворяется условие  $r + s = 1$ . В этих выражениях

$$\beta_2 = \frac{\omega_2 B_{\text{ср}2}}{\omega_1 B_{\text{ср}1}}; \quad \beta_3 = \frac{\omega_3 B_{\text{ср}3}}{\omega_1 B_{\text{ср}1}},$$

где  $B_{\text{ср}1}$ ,  $B_{\text{ср}2}$  и  $B_{\text{ср}3}$  — ширина канала на половине высоты начальной, преломленной и отраженной {волн, а  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  — скорости распространения тех же волн, определяемых по одной из имеющихся формул, в частности по формуле Сен-Венана.

Значения  $r$  и  $s$  для каждой высоты непрерывной волны находятся несколькими приближениями, так как они через  $\omega_2$  и  $\omega_3$  зависят от  $z_2$  и  $z_3$ . Как показали наши подсчеты, проведенные для довольно большого диапазона изменения отношения высоты волны к начальной глубине  $\frac{z}{H}$  (охватывающие в основном встречающиеся на практике случаи отражения волн), найденные по формуле (3) значения  $r$  незначительно отличаются от  $r_0$ , найденного для точки волны с высотой  $z=0$ . Поэтому можно значительно облегчить расчеты, принимая коэффициент отражения  $r_0$  постоянным для любой точки лба непрерывной волны, при ее медленном подъеме и относительной высоте  $\frac{z}{H} < 0,25 \div 0,30$ . Тогда  $r$  и  $s$  можно найти лишь одним приближением и формулы для них будут иметь более простой вид

$$r = \frac{1 - \beta_2}{1 + \beta_2} \quad \text{и} \quad s = \frac{2}{1 + \beta_2}.$$

В более общем случае кроме изменения сечения канала необходимо учитывать также потери энергии потока на месте изменения характеристик канала. Об этой необходимости И. В. Егизаров отмечает в вышеуказанной статье, а в другой работе [2] взамен (3) предлагает другие формулы для определения коэффициентов отражения и преломления с учетом перепада горизонта на месте изменения сечения.

Однако в этих формулах акад. И. В. Егизаров рассматривает случай перехода потока из большого водоема (где скорость движения по вертикальному и горизонтальному направлениям практически равна нулю) в канал, когда весь перепад горизонта на месте перехода тратится на образование скорости  $U$  в канале. Кроме того в таком виде пользование ими представляет значительные трудности, так как в них через скорость течения  $U$  фактически фигурирует несомый волной в канале неизвестный расход  $\Delta Q_2$ .

Выведем формулы коэффициентов отражения и преломления для более общего случая, когда канал до и после места отражения имеет конечные размеры и соединяющий две части канала участок имеет отличающиеся от них характеристики и некоторую длину, в пределах которой пренебречь потерями энергии нельзя. Такие случаи часто встречаются на местах перехода каналов под полотном дороги через грубы, при переходе каналов через препятствия по акведукам, дюкерам, трубопроводам и т. д. Условия равновесия и неразрывности для указанных случаев при расширении канала (см. рис.) будут иметь вид:

$$z_1 + \Delta z_0 = z_2 + z_3 + \Delta z, \quad (4)$$

$$(Q_0 + \Delta Q_2) = (Q_0 + \Delta Q_1) + \Delta Q_3, \quad (5)$$

где  $Q_0$  — начальный расход воды в канале,  $\Delta Q$  — волновой расход воды,  $z$  — высота волны над первоначальным горизонтом воды,  $\Delta z_0$  и  $\Delta z$  — перепады горизонта на месте изменения сечения канала до и после прохождения волны. Индексы „1“ относятся к начальной, „2“ — к преломленной, а „3“ — к отраженной волнам. Величины перепадов можно выразить через расход:

$$Q_0 = \mu f \sqrt{2g \cdot \Delta z_0} \quad \text{и}$$

$$Q_0 + \Delta Q_2 = \mu f \sqrt{2g \cdot \Delta z}, \quad (6)$$

а волновой расход  $\Delta Q$  можно найти по формуле

$$\Delta Q = \omega z B_{cp}, \quad (7)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода, учитывающий как местные потери, так и потери по длине переходного участка.

Подставляя эти значения в (4) и (5), решая относительно высоты отраженной волны  $z_3$  и преломленной волны  $z_2$ , получим

$$z_3 = \frac{F}{\omega_3 B_{cp3}} \left[ \sqrt{F^2 M^2 + z_1 (1 + N)} - F M \right] - z_1 N \quad (8)$$

$$z_2 = \frac{F}{\omega_2 B_{cp2}} \left[ \sqrt{F^2 M^2 + z_1 (1 + N)} - F M \right]. \quad (9)$$

В этих выражениях для краткости обозначены

$$N = \frac{\omega_1 B_{cp1}}{\omega_3 B_{cp3}}; \quad F = \mu f \sqrt{2g}; \quad M = \left( \frac{Q_0}{F^2} + \frac{1}{2\omega_2 B_{cp2}} + \frac{1}{2\omega_3 B_{cp3}} \right).$$

По (8) и (9) уже легко получить искомые коэффициенты

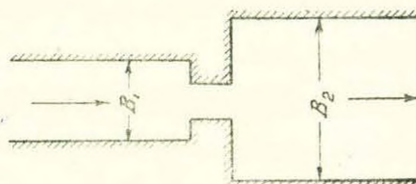
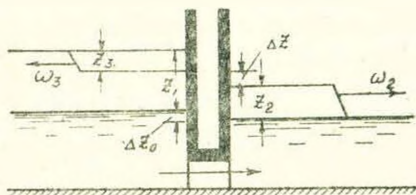
$$r = \frac{z_3}{z_1} \quad \text{и} \quad s = \frac{z_2}{z_1}$$

причем равенство  $r + s = 1$  в этом случае заменяется равенством  $r + s = \frac{\Delta z - \Delta z_0}{z_1}$ . Следует отметить, что вид зависимости (6) никак не

влияет на полученные выражения (8) и (9). Если учитывать связь коэффициента расхода  $\mu$  от перепада  $\Delta z$ , то уравнения (8) и (9) надо решать последовательными приближениями, но на практике этой связью почти всегда можно пренебречь.

Для случая сужения канала получаются аналогичные формулы для  $r$  и  $s$ . Выражения (8) и (9) показывают, что даже в случае постоянства сечения канала до и после переходного участка волны частично отражаются.

Сопоставление значений  $r$ , найденных по (3) и (8), показало, что формула (8) дает повышенные значения в случае сужения и по-



ниженные значения в случае расширения канала, что и следовало ожидать.

Если коэффициент отражения  $r$  найти для точки  $z=0$  начальной волны, то  $\omega_1 B_{cp1} = \omega_3 B_{cp3}$ ,  $N=1$ , а выражения (8) и (9) примут вид:

$$r = \frac{z_3}{z_1} = \frac{F}{\omega_1 B_{cp1} z_1} [ \sqrt{F^2 M^2 + 2z_1} - FM ] - 1 \quad (10)$$

$$s = \frac{z_2}{z_1} = \frac{F}{\omega_2 B_{cp2} z_1} [ \sqrt{F^2 M^2 + 2z_1} - FM ]. \quad (11)$$

Если в канале вода первоначально находится в состоянии покоя или можно пренебречь первоначальным перепадом  $\Delta z_0$ , эти выражения упростятся тем, что уже  $M = \frac{1}{2\omega_2 B_{cp2}} - \frac{1}{2\omega_3 B_{cp3}}$ , а при постоянстве сечения канала до и после переходного участка  $M$  еще больше упрощается и становится равным  $M = \frac{1}{\omega_1 B_{cp1}}$ .

Ереванский политехнический институт  
им. К. Маркса

Поступило 2.X 1959

Բ. Օ. ԵԳՆԱԶԱՐՅԱՆ,

ՋՐԱՆՑՔԻ ԿՏՐՎԱՆՔԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ՏՆՂԻՑ ԱՂԻԻ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁՄԱՆ  
ՀԱՇՎՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերվում են ալիքի անդրադարձման և բեկման գործակիցների որոշման համար Բ. Վ. Եղիազարովի կողմից ստացված (1) և (2) բանաձևերը և ընդգծվում է, որ հնարավոր է դրանք պարզեցնել: Հեղինակը դիտում է համեմատարար ալիքի բարդ զեպը, և հիմքում ընդունելով շարժման (4) և անխզելիություն (5) պայմանները, ստանում է ալիքի անդրադարձման և բեկման գործակիցների որոշման համար (8) և (9) արտահայտությունները: Ստացված բանաձևերը ցույց են տալիս, որ դիտարկվող զեպում, երկար ալիքները անդրադառնում են, նույնիսկ և թե անցումից առաջ և հետո ջրանցքի բնութագրերը մնում են նույնը:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егнazarов И. В. „Неустановившееся движение в длинных бьефах“, Известия НИИГ, т. 21, 1937.
2. Егнazarов И. В. „Сопоставление расчетов неустановившегося волнового движения с опытами“, Известия НИИГ, т. 28, 1946.