

Г. А. СИМОЯН

ВОЗМОЖНЫЕ ФОРМЫ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА
 В ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РУСЛАХ НА УЧАСТКЕ БОКОВОГО
 ВОДОСЛИВА

Анализ возможных форм свободной поверхности потока на участке бокового водослива производится на основе общего дифференциального уравнения движения жидкости с переменным расходом в призматических руслах:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_0 - i_f - \frac{\alpha Q}{g\omega^2} (2-k) \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}} \quad (1)$$

где $2 > k > 1$ — изменяется как коэффициент отделения [2];

i_0 — уклон дна русла;

i_f — гидравлический уклон трения;

Q — расход, который переменный по длине;

ω — площадь живого сечения;

B — ширина русла по верху;

h — глубина потока;

l — длина расчетного участка.

Рассмотрим случаи, когда $i_0 > 0$, $i_0 = 0$ и $i_0 < 0$.

Как обычно, при каждом из указанных случаев будем рассматривать три зоны a , b , c в канале до водослива [1].

1 случай $i_0 > 0$.

1. $i_0 < i_{кр}$ (зона — a). $h > h_0 > h_{кр}$ ($i_{кр}$ — критический уклон,

h_0 — глубина равномерного движения, $h_{кр}$ — критическая глубина).

Для исследования предполагаем, что $i_f = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}$, после чего (1)

можно представить в виде:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) - \frac{\alpha Q}{g\omega^2} (2-k) \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}} \quad (2)$$

Здесь $K_0^2 = \frac{Q_0^2}{g}$ — величина переменная, так как Q — переменная,

$K^2 = \omega^2 C^2 R$, где C — коэффициент Шези. R — гидравлический радиус, также переменная величина.

По заданному условию в начале водослива глубина потока $h > h_0$. Рассматриваемый подпор возможен в результате подпирания с участка канала после водослива, где глубины также будут больше равномерной, следовательно $K > K_0$ и это неравенство остается неизменным по всей длине водослива.

Рассмотрим знаки членов числителя правой части уравнения (2). Первый член числителя имеет положительный знак, так как $K > K_0$. Во втором члене имеем $\frac{\alpha Q}{g \omega^3} > 0$, величина $(2-k)$, также положительная, а dQ — отрицательная, вследствие того, что по длине водослива происходит уменьшение расхода потока. Отсюда следует, что в целом знак второго члена числителя положительный. Имея в виду, что $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} < 1$, то знак знаменателя также положительный. В результате имеем $\frac{dh}{dl} = \frac{(+)}{(+)}$, т. е. в данном случае образуется кривая подпора, целиком расположенная в зоне a (рис. 1).

При возрастании h , $K \rightarrow \infty$ и $\omega \rightarrow \infty$, следовательно $\frac{dh}{dl} \rightarrow i_0$. Это означает, что кривая подпора в нижней своей части асимптотически приближается к горизонтальной линии.

В случае, когда $h \rightarrow h_0$, а следовательно $K \rightarrow K_0$, получаем $\frac{dh}{dl} = \frac{(+)}{(+)}$, т. е. аналогичную первой, кривую подпора (рис. 2). Обе эти кривые имеют выпуклую форму, направленную вверх.

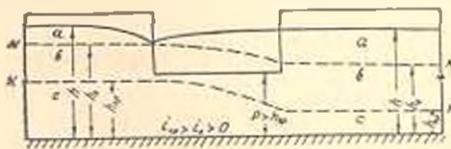


Рис. 1.

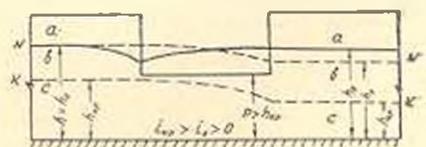


Рис. 2.

2. $i_0 < i_{кр}$ (зона — b), $h_0 > h > h_{кр}$

В этом случае имеем $K < K_0$. Кроме того, как в предыдущем случае, $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} < 1$. Таким образом в правой части уравнения (2) имеем первый член числителя отрицательный, второй — положительный. Знаменатель также положительный. В итоге $\frac{dh}{dl} = \frac{(-) \div (+)}{(+)}$.

В тех случаях, когда $i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) < \frac{\alpha Q}{g \omega^3} (2-k) \frac{dQ}{dl}$ имеем $\frac{dh}{dl} =$

$= \frac{(+)}{(+)} > 0$. Получаем кривую подпора, имеющую вогнутую форму,

направленную вверх (рис. 3). В тех случаях, когда $i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) > \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}$ имеем $\frac{dh}{dl} = \frac{(-)}{(+)} < 0$, т. е. кривая спада, имеющая пологую форму, направленную вниз (рис. 4). Такая кривая спада возможна при относительно длинных боковых водосливах, когда $\frac{l}{H}$ большая величина (l — длина водослива, H — напор над водосливом), и через каждую единицу длины водослива сбрасывается сравнительно небольшой расход с небольшим, по сравнению с l , напором. Имея



Рис. 3.

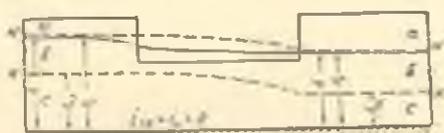


Рис. 4.

в виду, что в этом случае величина dQ становится очень малой, приведенные выше последние неравенства практически возможны. Они возможны также при большой шероховатости русла.

Таким образом можно установить следующие критерии существования:

а) гидравлически короткого бокового водослива, при

$$i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) < \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl};$$

б) гидравлически длинного бокового водослива, при

$$i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) > \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}.$$

3. $i_0 < i_{кр}$ (зона — c), $h_0 > h_{кр} > h$.

В этом случае поток к водосливу подходит в бурном состоянии и поэтому $\frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \frac{B}{\omega^3} > 1$.

Перелив через водослив возможен при $P < h$ (P — высота порога). В этом случае имеем $K_0 > K$ так как $h_0 > h$ и хотя K_0 по длине водослива уменьшается из-за уменьшения расхода, все же она остается больше, чем K . Это следует из того, что критические глубины по длине водослива уменьшаются быстрее, чем глубины равномерного движения. Таким образом, обращаясь к уравнению движения (2) можем установить $\frac{dh}{dl} = \frac{(-) + (+)}{(-)}$.

В том случае, когда $i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) < \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}$ получается $\frac{dh}{dl} < 0$, т. е. кривая спада (рис. 5).

Если $i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) > \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}$, то $\frac{dh}{dl} > 0$ и имеем кривую подпора (рис. 6), которая как было сказано выше возможна при большой относительной длине водослива $\frac{l}{H}$ или при большой шероховатости русла.

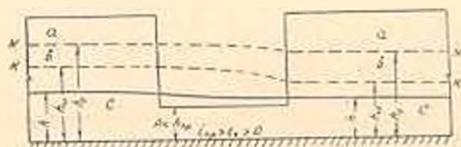


Рис. 5.

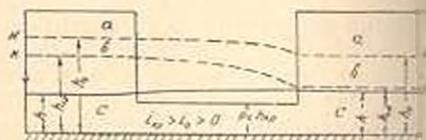


Рис. 6.

II случай $i_0 = 0$ или $i_0 < 0$.

На участке русла с уклоном $i_0 = 0$ или $i_0 < 0$ движение потока осуществляется за счет его ранее накопленной энергии и как известно равномерное движение в этом случае невозможно.

На участке бокового водослива часть удельной энергии потока уходит на преодоление сопротивлений трения, а часть на деление потока. Эксперименты на горизонтальных лотках с боковым водосливом показывают, что на деление на единицу длины потока затрачивается энергии существенно больше, чем на преодоление сопротивлений трения. Поэтому членом $i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right)$ в (2) по сравнению с членом $\frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}$ можно пренебречь. Тогда уравнение движения (2) можно представить в виде:

$$\frac{dh}{dl} = - \frac{\frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g \omega^2} \frac{B}{\omega^2}} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что, так как знак числителя всегда положительный ($\frac{dQ}{dl} < 0$), в зависимости от знака знаменателя возможны только два вида кривой свободной поверхности:

- при $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^2} < 1$, $\frac{dh}{dl} > 0$ — кривая подпора (рис. 7);
- при $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^2} > 1$, $\frac{dh}{dl} < 0$ — кривая спада (рис. 8).

$\frac{dh}{dl} = \frac{(+)}{(+)} > 0$, т. е. кривая подпора, находящаяся в зоне *a* (рис. 10).

Подобную кривую получим при перемещении гидравлического прыжка, возникшего ниже водослива к началу водослива (см. рис. 96).

2. (зона — *b*), $h_{кр} > h > h_0$.

Перелив через боковой водослив возможен при $P < h_0$ или $P = 0$ (свободное растекание). Здесь мы имеем $h > h_0$, следовательно $K > K_0$, а также $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} > 1$. В итоге $\frac{dh}{dl} = \frac{(+)}{(-)} < 0$, получается кривая спада (рис. 11).

3. (зона — *c*) $h_{кр} > h_0 > h$.

В этом случае имеем $K_0 > K$ и $\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} > 1$, что в результате дает $\frac{dh}{dl} = \frac{(-) + (+)}{(-)}$.

Если

$$i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) < \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl}, \text{ то } \frac{dh}{dl} = \frac{(+)}{(-)} < 0,$$

получим кривую спада (рис. 12).

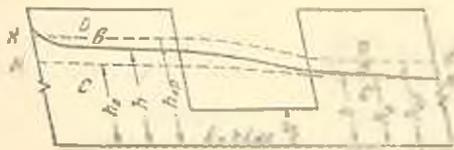


Рис. 11.

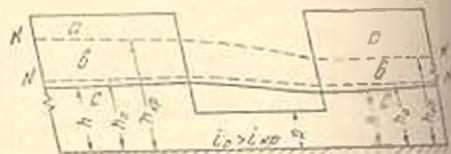


Рис. 12.

Если

$$i_0 \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) > \frac{\alpha Q}{g \omega^2} (2 - k) \frac{dQ}{dl} \text{ (при гидравлически длинном водосливе), то}$$

$$\frac{dh}{dl} = \frac{(-)}{(-)} > 0. \text{ В силу этого имеем кривую подпора (рис. 13).}$$

если

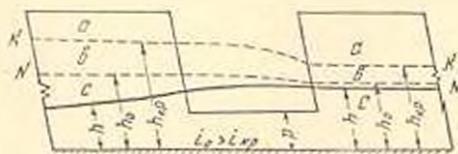


Рис. 13.

Отметим, что случай $i_0 > i_{кр}$ рассмотрен ради полноты исследования. Практически этот случай не встречается.

Приведенный анализ показывает, что кривые свободной поверхности потока в призматическом русле, в пределах бокового водослива, могут иметь как форму кривой подпора, так и кривой спада. В отличие от существующих, настоящий анализ более полный. Впервые введено понятие гидравлически коротких и длинных боковых водосливов и установлены их критерии. Эти критерии показывают, что при спокойном состоянии потока возможна не только кривая подпора, как до сих пор считало большинство авторов, но и кривая спада. Обе эти формы кривых свободной поверхности можно выявить конкретными расчетами.

Институт водных
проблем АН Армянской ССР

Поступило 10.V. 1961 г.

Հ. Ա. ՍԻՍՅԱՆ

ԱՋԱՏ ՄԱԿԵՐԵԱՎՈՒՅԹԻ ԿՐՈՒ ԶՆԱՐԱՎՈՐ ՁԵՎԵՐԸ ՊՐԻՋՄԱԿԱՅԻ ՀՈՒՆՈՒՄ ԿՐՎԱՅԻՆ ՋՐՇԱՓԻ ՏԵՂԱՄԱՍՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ն Ա Մ

Ազատ մակերևույթի հնարավոր ձևերի միջուկման համար սղտադրված է (1) բանաձևը և դիտված են հոսանքի շարժման երեք դեպք. երբ հունի հատակը անի ուղիղ, հակառակ և գերոյական թեքություններ:

Ինքված վերլուծությունը կրում է ընդհանուր բնույթ և ցույց է տալիս, որ շարժման տարրեր դեպքերում, կախված հոսանքի պարամետրերից, ազատ մակերևույթը կողային ջրթափի սահմաններում կարող է լինել թե՛ դիմհարի և թե՛ անկման կոր:

Վերլուծությունը ընթացքում առաջադրված են հիդրավլիկոն կարճ և երկար կողային ջրթափների չափանիշներ, որոնք ցույց են տալիս, որ կախված ջրթափի երկարությունից և հունի խորությունից և ստորնաձևից, ազատ մակերևույթի կորերը մի ձևից կարող են փոխվել մի այլ ձևի:

Այսպիսով, այս վերջին հանդամանքը ցույց է տալիս, որ ոչ միայն հոսանքի կինեմատիկական կամ գինամիկական տարրերը կարող են լինել որոշիչ գործոններ ազատ մակերևույթի ձևավորման վրա, այլև վերջինիս վրա էական ազդեցություն կարող են ունենալ հոսանքի երկրաչափական տարրերը:

Լ Ի Ն Ե Ր Ա Տ Ր Ա Մ

1. Ароскин И. И., Дмитриев Л. Т. и Пикалов Ф. И. „Гидравлика. 1951.
2. Симомян Г. А. К вопросу гидравлического расчета боковых водосливов. „Известия АН Армянской ССР“ (серия ТН), т. XIV, № 1, 1961.