

## СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ КАНАЛАМИ

## § 14-1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ

В практике часто приходится сопрягать два каких-либо бьефа (водоема) при помощи канала.

Рассматривая схему такого канала (рис. 14-1), в общем случае можно различать два разных его участка:

I — первый участок длиной  $l_1$ , в пределах которого свободная поверхность потока падает на величину  $Z_{вк}$ ;

II — второй участок длиной  $l_2$ , в пределах которого свободная поверхность водотока падает на величину  $Z$ .

Первый участок с гидравлической точки зрения представляет собой водослив, характеризуемый наличием местной потери напора  $h_1$  (потери напора по длине для водосливов пренебрегают). Входной перепад  $Z_{вк}$  возникает в основном благодаря переходу потенциальной энергии верхнего бьефа в кинетическую энергию воды, поступающей в канал: при входе в канал скорости потока резко повышаются.

Кроме того, на величине  $Z_{вк}$  сказывается упомянутая местная потеря  $h_1$ . Второй участок является собственно каналом; здесь имеет место равномерное или неравномерное плавно изменяющееся движение воды, причем на этом участке канала учитывают только потери напора по длине  $h_2$ .

В связи со сказанным в практике различают следующие три случая:

1-й случай: длина  $l_2$  имеет незначительную, пренебрежимо малую величину, благодаря чему и потеря напора  $h_2$  оказывается пренебрежимо малой сравнительно с потерей напора  $h_1$ . В этом случае рассматриваемый канал обращается в водослив, который изучали выше (в гл. 11).

2-й случай: длина  $l_2$  велика, в связи с чем потерей напора  $h_1$ , имеющей место в пределах длины  $l_1$ , можно пренебречь сравнительно с потерей напора  $h_2$ , имеющей место в пределах длины  $l_2$ . Получаем так называемый длинный канал. Скорости в длинных каналах обычно относительно невелики, причем входным перепадом  $Z_{вк}$  в них часто можно пренебречь и считать, что горизонт воды и начале канала стоит на одном уровне с горизонтом воды верхнего бьефа.

3-й случай: потери напора  $h_2$  и  $h_1$  соизмеримы так же, как и длины  $l_1$  и  $l_2$ . Здесь нельзя пренебрегать ни величиной  $h_2$ , ни величиной  $h_1$ , в связи с чем получаем гидравлическую систему: водослив (входной) плюс собственно канал. Такого рода каналы называются короткими каналами или лотками (при большом уклоне их — быстроточками).

Далее будем рассматривать главным образом плоскую задачу о движении воды в коротких каналах. Расчет длинных каналов осветим только кратко.<sup>1</sup>

Короткие каналы иногда устраиваются при плотинах для пропуска сплавляемой по реке древесины (так называемые лесосплавные лотки); иногда



Рис. 14-1. Канал, соединяющий два бьефа

<sup>1</sup> Подробно вопрос о длинных каналах рассматривается в курсах «Использование водной энергии» и «Инженерная мелиорация».

короткие каналы (быстротоки) делают при плотинах для сброса излишней воды из верхнего бьефа и т. п.

Задача расчета коротких каналов обычно ставится следующим образом.

За даны: 1) размеры поперечного сечения канала и его продольный профиль;

2) коэффициент шероховатости стенок и дна канала;

3) отметки горизонта воды в верхнем и нижнем бьефах.

Требуется: 1) найти расход  $Q$  воды в канале;

2) построить кривую свободной поверхности потока в канале для того, чтобы определить глубины воды и средние скорости в различных его поперечных сечениях.

При построении свободной поверхности потока иногда приходится устанавливать местоположение прыжка в канале.

#### § 14-2. РАСЧЕТ КОРОТКОГО КАНАЛА, ИМЕЮЩЕГО УКЛОН ДНА МЕНЬШЕ КРИТИЧЕСКОГО ( $i < i_c$ )

Продольный разрез по такому каналу изображен на рис. 14-2. Так как уклон  $i < i_c$ , то гидравлический прыжок в канале появиться не может. В этом случае глубины воды  $h$  в канале будут всегда больше критической глубины:

$$h > h_c \quad (14-1)$$



Рис. 14-2. Короткий канал ( $i < i_c$ )

а следовательно, верховой водосливный узел канала должен в данном случае работать, как подтопленный водослив. Здесь предполагаем, что верховой водослив представляет собой водослив с широким порогом, на котором, если он не подтоплен, устанавливается, согласно Бахметеву, глубина, равная  $h_c$ .

Обозначим известное превышение горизонта воды нижнего бьефа над дном канала в его конце через  $h_2$ . Через  $h_1$  обозначим неизвестную нам глубину в конце водослива (в сечении 1-1).

Если бы нам был известен расход  $Q$  в канале, то, полагая, что в конце канала (в сечении 2-2) установится глубина  $h_2 = h_c$ , мы могли бы построить исходя из этой глубины кривую свободной поверхности и найти таким образом глубину  $h_1$ . Однако, не зная глубины  $h_1$  в нижнем бьефе водослива (в конце водослива), мы не можем исходя из водосливной формулы, относящейся к подтопленному водосливу, установить величину расхода  $Q$ .

Учитывая сказанное, величину  $Q$  приходится определять в данном случае следующим образом.

1. Задаемся рядом расходов воды в лотке (собственно канале):  $Q_n, Q_{n-1}, Q_{n-2}, \dots$  и для каждого такого расхода по уравнению неравномерного движения находим глубины в сечении 1-1:  $h_1', h_1'', h_1''', \dots$  При таком расчете глубину  $h_2$  в конце лотка считаем равной  $h_c$ .

2. По полученным в п. 1 данным строим на рис. 14-3 кривую

$$h_1 = f_1(Q_1). \quad (14-2)$$

3. Для ряда полученных глубин  $h_1, h_2, h_3, \dots$  по водосливной формуле для подтопленного водослива с широким порогом находим расходы воды  $Q_n$  переливающейся через водослив. Указанную водосливную формулу при расчете можно переписать в виде:

$$Q_n = \varphi_n b h_1 \sqrt{2g(H_0 - h_1)}, \quad (14-3)$$

где  $\varphi_n$  — коэффициент скорости для подтопленного водослива;  $b$  — ширина водослива.<sup>1</sup>

4. По данным п. 3 на рис. 14-3 строим вторую кривую

$$Q_n = f_2(h_1). \quad (14-4)$$

Очевидно, расход в лотке должен равняться расходу водослива:

$$Q_1 = Q_n. \quad (14-5)$$

Отсюда заключаем, что искомый расход ( $Q_{вск}$ ) должен отвечать точке пересечения двух кривых, представленных на рис. 14-3. Найдя, таким образом, расход  $Q$ , который должен иметь место в нашем случае, мы при этом, как видно, одновременно определили и глубину  $h_1$ , которая установится в сечении 1-1; эта глубина должна отвечать также точке пересечения двух упомянутых кривых.

Зная  $Q$ , легко по уравнению неравномерного движения построить всю кривую свободной поверхности в канале.

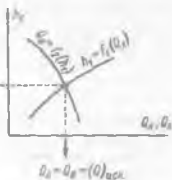


Рис. 14-3 К расчету короткого канала (при  $i < i_n$ )

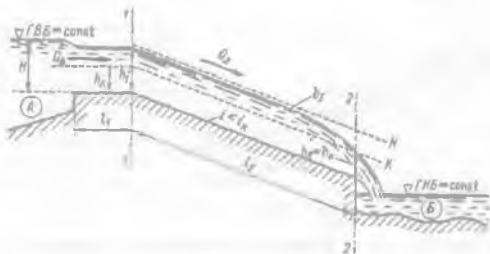


Рис. 14-4. Короткий канал ( $i < i_n$ ); истечение в атмосферу

Если установленная глубина  $h_1$  удовлетворяет условию

$$h_1 < h_B, \quad (14-6)$$

то в канале должны получить кривую подпора типа  $a_1$  (рис. 14-2); если же найденная глубина удовлетворяет условию

<sup>1</sup> Предполагаем, что канал и водослив (прямоугольный) имеют одинаковые ширины  $b$ .

$$h_1 > h_B, \quad (14-7)$$

то в канале должны получить кривую спада типа  $b_1$ .

В заключение рассмотрим случай, когда горизонт воды в нижнем бьефе (в водоеме Б) стоит на относительно низком уровне (рис. 14-4). Тогда глубина воды  $h_2$  должна равняться критической глубине  $h_K$ :

$$h_2 = h_K \quad (14-8)$$

При этом п. 1 схемы расчета, приведенной выше, следует несколько изменить и записать его в следующем виде:

задавая рядом расходов в лотке  $Q_0, Q_0'', Q_0''', \dots$ , для каждого из них предварительно определяем критическую глубину:  $h_{K0}, h_{K0}'', h_{K0}''', \dots$  и далее, полагая глубину  $h_2$  равной не  $h_B$ , а соответствующей глубине  $h_1$ , отыскиваем глубины  $h_1', h_1'', h_1''', \dots$

Остальные три пункта расчета остаются теми же, что и в случае канала на рис. 14-2. Условие (14-8) должно иметь место, когда

$$h_B < h_{K0} \quad (14-9)$$

и поэтому при наличии такого соотношения расчет канала следует вести с учетом указанной поправки к приведенной выше схеме расчета.

Выше мы имели в виду, что  $i > 0$ ; при  $i = 0$  расчет ничем не отличается от поясненного.

#### § 14-3. РАСЧЕТ КОРОТКОГО КАНАЛА, ИМЕЮЩЕГО УКЛОН ДНА БОЛЬШЕ КРИТИЧЕСКОГО ( $i > i_K$ )

1°. Случай истечения из короткого канала в атмосферу. Этот случай изображен на рис. 14-5. Так как  $i > i_K$ , то глубины воды в канале  $h$  меньше критической глубины:

$$h < h_K \quad (14-10)$$



Рис. 14-5 Короткий канал ( $i > i_K$ )

Отсюда ясно, что входной водослив канала в данном случае должен работать как неподтопленный водослив, и глубина в сечении I-I (в конце водослива и в начале канала) должна установиться, согласно Бахметеву, равной критической глубине:

$$h_1 = h_K \quad (14-11)$$

Благодаря тому, что в данном случае водослив не подтоплен, расход  $Q$  находится без подбора. При этом пользуемся формулой

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (14-12)$$

где все величины известны.<sup>1</sup>

Зная расход и зная одну точку  $m$  свободной поверхности, определяемую критической глубиной (см. рис. 14-5), легко, начиная от точки  $m$  и идя вниз по течению, построить по уравнению неравномерного движения свободную

<sup>1</sup> Как и в предыдущем параграфе, входной водослив и собственно канал считаем прямоугольным, шириной  $b$

поверхность потока. Кривая свободной поверхности в данном случае является кривой типа  $h_{II}$ . Эта кривая относительно коротка, и поэтому на небольшом расстоянии от сечения 1-1 получаем уже равномерное движение воды в лотке

2°. Случай истечения при подтопленном конце короткого канала. Построим свободную поверхность в канале, как в предыдущем случае (см. свободную поверхность, показанную на рис. 14-б жирной штриховой линией).

При этом через  $n'$  обозначим точку, лежащую на вертикали 2-2 и принадлежащую линии критических глубин  $K-K$ .

Если горизонт воды в водоеме  $B$  располагается ниже точки  $n'$ , то заведомо получаем случай, который должен рассматриваться как истечение в атмосферу, описанное в предыдущем пункте. Если же горизонт выше точки  $n'$ , то конец лотка может оказаться подтопленным, и в лотке образуется прыжок.

С тем, чтобы в последнем случае окончательно решить вопрос о наличии или отсутствии подтопления лотка нижним бьефом, поступаем так:

1) найдя, как указано в п. 1°, расход  $Q$  и построив свободную поверхность в лотке (показанную на рисунке жирной штриховой линией), определяем  $h_2$  в сечении 2-2, получающуюся в этом сечении в предположении, что лоток не подтоплен;<sup>1</sup>

2) находим, пользуясь основным уравнением прыжка, глубину  $h_2'$ , сопряженную с глубиной  $h_2$ ;

3) представляем себе в сечении 2-2 фиктивный (воображаемый) прыжок с сопряженными глубинами:  $h' = h_2$  и  $h'' = h_2'$ ; при этом рассуждаем следующим образом:

а) если  $h_2' > h_B$  (где  $h_B$  — возвышение горизонта воды в водоеме  $B$  над дном лотка в его конце), т. е. если нижний бьеф



Рис. 14-7. Короткий канал ( $i > i_c$ ); прыжок в канале

не покрывает (не затопливает) фиктивного прыжка, то в действительности прыжка в лотке не будет. В этом случае получаем ту же картину истечения, что и в п. 1°, причем построенная ранее (рис. 14-б) кривая  $h_{II}$  (показанная жирной штриховой линией) обращается на всем своем протяжении в действительную кривую свободной поверхности;

б) если  $h_2' < h_B$ , т. е. если нижний бьеф покрывает (затопливает) фиктивный прыжок, то конец лотка будет подтоплен, и в результате получим картину истечения в виде, показанном на рис. 14-7.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Часто указанная глубина  $h_2$  получается весьма близкой к глубине  $h_0$  равномерного режима.

<sup>2</sup> Расчет, поясненный в п. 3, носит, разумеется, приближенный (условный) характер.



Рис. 14-6. Короткий канал ( $i > i_c$ ); к расчету подтопления канала нижним бьефом

Как видно, в последнем случае в лотке появляется гидравлический прыжок: слева от прыжка имеем кривую свободной поверхности  $b_{II}$ ; справа же от прыжка — кривую свободной поверхности  $a_{II}$ .

Заметим, что при построении такого рода свободных поверхностей длиной гидравлического прыжка обычно можно пренебрегать и представлять себе прыжок, образованный свободной поверхностью, поднимающейся по вертикали вверх. Как видно из рис. 14-7, местоположение прыжка в лотке определяется длиной  $l_0$ , т. е. длиной кривой подпора  $a_{II}$ . Ниже рассмотрим вопрос о том, как следует определять длину  $l_0$ .

#### § 14-4. ПРОДОЛЖЕНИЕ: УСТАНОВЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПРЫЖКА В КОРОТКОМ КАНАЛЕ ПРИ ПОДТОПЛЕННОМ ЕГО КОНЦЕ

Можно различать два случая рассматриваемой задачи.

1°. Случай, когда глубина в том месте, где ожидаем прыжок, заведомо равна глубине  $h_0$  (т. е. случай, когда на том участке, где ожидается прыжок, заведомо имеет место равномерный режим). Здесь вопрос о величине  $l_0$  решается относительно просто:

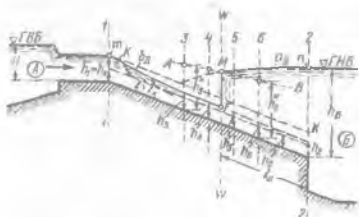


Рис. 14-8 Определение местоположения прыжка в канале (прямоугольное русло)

1) находим глубину  $h_0^*$ , сопряженную с глубиной  $h_0$ ;

2) глубину воды в самом конце лотка принимаем равной  $h_2 = h_B$ ;

3) искомую длину  $l_0$  определяем по уравнению неравномерного движения как длину кривой подпора типа  $a_{II}$ , сопрягающей известные глубины  $h_0^*$  и  $h_B$ .

2°. Случай, когда прыжок устанавливается на том участке лотка, где можем ожидать неравномерное движение воды. В данном случае рассмотрим отдельно русло пря-

моугольного и любого иного сечения.

Прямоугольное русло лотка. Поскольку прыжок устанавливается на участке, где возможно неравномерное движение, нам заранее неизвестна ни меньшая, ни большая сопряженные глубины. В связи с этим приходится поступать следующим образом:

а) определяем  $Q$  и  $h_c$ ;

б) строим кривую  $h_{II}$ , начиная от точки  $m$  (рис. 14-8) до самого конца лотка, причем на чертеже показываем эту кривую на всем ее протяжении штриховой линией;

в) строим кривую  $a_{II}$ , начиная от точки  $n$  (рис. 14-8) до тех пор, пока она не упрется в линию критических глубин  $K-K$ , причем на чертеже показываем эту кривую на всем ее протяжении штриховой линией;

г) намечаем ряд вертикальных сечений: 3, 4, 5, ... и устанавливаем для каждого сечения глубины  $h_3, h_4, h_5, \dots$ , определяемые кривой  $b_{II}$ ;

д) по основному уравнению прыжка находим (в данном случае без подбора) глубины  $h_3^*, h_4^*, h_5^*, \dots$ , сопряженные с глубинами  $h_3, h_4, h_5, \dots$ ;

е) откладывая в соответствующих сечениях глубины  $h_3^*, h_4^*, h_5^*, \dots$  от дна лотка вверх, получаем в сечениях 3, 4, 5, ... точки, по которым проводим кривую  $AB$ . Легко видеть, что кривая  $AB$  является кривой глубин, сопряженных с глубинами, определяемыми кривой  $b_{II}$ ;

ж) находим точку  $M$  пересечения кривой  $AB$  с кривой свободной поверхности  $a_{II}$ . Очевидно, точка  $M$  и будет давать местоположение прыжка, поскольку в этом месте глубина, определяемая кривой  $b_{II}$ , и глубина, определяемая кривой  $a_{II}$ , являются сопряженными глубинами.

Найдя таким образом местоположение прыжка, далее отбрасываем участок кривой  $b_{II}$ , лежащий правее точки  $F$ , и участок кривой  $a_{II}$ , лежащий левее точки  $M$ . В результате искомую кривую свободной поверхности получаем в виде линии  $mFMn$ .

Русло любого поперечного сечения В этом случае приходится строить две кривые прыжковой функции  $\Theta$  вдоль потока. первую кривую — для воображаемого потока, определяемого кривой свободной поверхности  $b_{II}$  (построенной, как пояснялось выше), вторую кривую — для воображаемого потока, определяемого кривой свободной поверхности  $a_{II}$  (построенной, как пояснялось выше)

Две указанные кривые прыжковой функции представлены на рис. 14-9, а (см график, расположенный над основным чертежом и соответствующим образом увязанный с ним) Прыжок должен установиться в вертикальном поперечном сечении лотка, проходящем через точку пересечения  $M$  двух упомянутых кривых прыжковой функции, поскольку в этом сечении глубина  $h_p$ , относящаяся к кривой  $a_{II}$  и глубина  $h_b$ , относящаяся к кривой  $b_{II}$ , имеют прыжковую функцию одинаковой величины В заключение приведем следующее замечание

Представим себе (рис. 14-9, б), что горизонт воды в водоеме  $B$  постепенно повышается. Из приведенных выше объяснений должно быть ясно, что при этом гидравлический прыжок должен постепенно перемещаться вверх по течению. В конце концов прыжок может надвинуться на входной водослив, и в результате получим условия, когда входной водослив работает как подтопленный

Таким образом, можем видеть, что в случае лотка с уклоном дна  $i > i_c$  при очень высоком стоянии горизонта воды в водоеме  $B$  входной водослив может оказаться подтопленным. В этом случае лоток с уклоном  $i > i_c$  приходится рассчитывать так, как мы рассчитывали лоток с уклоном  $i < i_c$ .

#### § 14-5. УКАЗАНИЯ О РАСЧЕТЕ ЛОТКОВ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ РЯДА УЧАСТКОВ РАЗНОГО УКЛОНА. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Выше рассматривался лоток постоянного уклона. Однако в практике не всегда можно наметить трассу канала так, чтобы уклон дна канала был всюду одинаковым. Часто можем получать при определенном рельефе местности картину, показанную, например, на рис. 14-10. Здесь участок  $I$  канала имеет уклон  $i < i_c$ , причем этот участок представляет собой входной водослив; остальные участки канала имеют уклон  $i > i_c$ .

Расчет канала, показанного на рис. 14-10, следует начинать с участка  $I$ . В результате рассмотрения участка  $I$  (как неподтопленного водослива) находим расход  $Q$ , а также начальную точку  $m$  свободной поверхности в сечении  $1-1$  (эта точка должна определяться критической глубиной  $h_c$ ). Далее, идя от точки  $m$  вниз по течению и рассматривая участок  $II$  канала, находим по уравнению

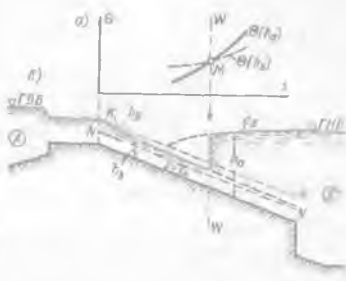


Рис. 14-9. Определение местоположения прыжка в канале (не прямоугольное русло)

неравномерного движения глубину  $h_2$ . Затем переходим к участку III лотка, соединяем уравнением неравномерного движения сечения 2—2 и 3—3, причем находим глубину  $h_3$ , и т. д. Наконец, выясняем условия сопряжения бьефов за лотком, а также вопрос о наличии или отсутствии прыжка в лотке.

Приведем в заключение настоящего параграфа следующие отдельные замечания.



Рис. 14-10. Канал с переменным уклоном дна

При этом свободная поверхность потока в лотке (где глубина  $h < h_c$ ) сопрягается со свободной поверхностью нижнего бьефа (дающей глубину воды в конце лотка  $h_b > h_c$ ) без прыжка (рис. 14-11). Этот случай является тем исключением, о котором мы говорили в § 8-1, где указывали, что при пересечении линии К—К свободной поверхностью (при возрастании глубин) в русле должен получаться прыжок.

Однако такое решение имеет следующие недостатки:

а) последний участок канала с уклоном  $i = i_c$  оказывается слишком длинным, и потому иногда его трудно запроектировать;

б) в случае, когда расход в лотке в процессе его эксплуатации получается отличным от расчетного, т. е. от расхода, на который проектировался лоток, величины  $h_c$  и  $i_c$  изменяют свое значение; при этом уклон построенного последнего участка лотка перестает быть критическим, и в лотке может возникнуть прыжок. Разумеется, прыжок в канале при  $i = i_c$  должен также возникнуть, если горизонтальная прямая  $a_{II}$  окажется расположенной выше горизонтальной прямой  $c_{III}$ .

Избавиться от прыжка в лотке можно также путем создания в нем так называемой искусственной шероховатости. Устраивая искусственную шероховатость, увеличиваем коэффициент шероховатости  $n$ . Благодаря этому получаем следующее: а) нормальная глубина  $h_0$  увеличивается (при  $Q = \text{const}$ ); б) также увеличиваются и действительные глубины в лотке.

Что касается критической глубины  $h_c$ , то с изменением коэффициента шероховатости  $n$  величина  $h_c$  остается без изменения.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Влиянием шероховатости на коэффициент  $\alpha$ , входящий в формулу для  $h_c$ , пренебрегаем.

1. Наличие прыжка в лотке является нежелательным, например, при сплаве леса (в так называемых лесосплавных лотках), так как в районе образования прыжка будут происходить удары сплавляемой древесины о стенки лотка; кроме того, прыжок в лотке может вызвать лесной залом (пробку).

Чтобы избежать прыжка, можно придать последнему участку лотка уклон дна  $i = i_c$ .



Рис. 14-11. Свободная поверхность потока в пределах концевой участка канала при  $i = i_c$



Как видно, искусственная шероховатость дает следующий эффект: если до устройства искусственной шероховатости поток характеризовался соотношениями

$$h_0 < h_x; \quad i > i_x, \quad (14-13)$$

то после устройства искусственной шероховатости, увеличив глубину  $h_0$  (и оставив без изменения  $h_x$ ; см. выше), можем получить соотношения

$$h_0 \geq h_x; \quad i \leq i_x, \quad (14-14)$$

при которых гидравлический прыжок невозможен.

Однако «конструкция» искусственной шероховатости, представляющей собой различного рода выступы, создаваемые на дне и стенках лотка, затрудняет сплав древесины, и потому в последнее время искусственную шероховатость применять для лесосплавных лотков не рекомендуют.

2. Вола в коротких каналах, выполненных с большим уклоном (в так называемых быстротоках), может иметь очень большие скорости.

При движении воды в канале приводится в движение также воздух, соприкасающийся со свободной поверхностью потока. При этом в случае больших скоростей воды поток захватывает воздух и насыщается в некоторой мере пузырьками воздуха (аэрируется). В результате аэрации потока в канале движется смесь воды и пузырьков воздуха. При этом глубины потока возрастают.

В настоящее время отсутствуют еще достаточно надежные методы расчета аэрации потока.

3. Существует особый тип короткого канала с большим уклоном (быстротока), представленного на рис. 14-12. Как видно, здесь канал заканчивается консолью  $K_n$ , причем струя отбрасывается от последней опоры канала достаточно далеко.

Гидравлический расчет такого быстротока ведется так же, как и обычного канала. Дополнительно здесь приходится определять:

а) дальность полета струи  $l_0$  (см. рис. 14-12); этот вопрос решается на основании уже известных зависимостей; длина  $l_0$  нам необходима для того, чтобы установить местоположение воронки размыва  $A$ , показанной на рисунке;

б) глубину воронки размыва: этот вопрос можно решить только весьма приближенно, пользуясь некоторыми расчетами, освещенными в литературе (этих расчетов здесь касаться не будем; см. § 12-12).

Зная местоположение воронки размыва, а также глубину и величину коэффициентов откоса ее, можно решить вопрос о том, насколько правильно запроектирована последняя опора быстротока (не будет ли она подмыта потоком).

4. Сталкиваясь с каналами, имеющими большой уклон, и прилагая к ним при расчете известные уравнения неравномерного и равномерного движения, полученные для условий, когда плоские живые сечения потока можно считать вертикальными, мы, разумеется, допускаем здесь некоторую погрешность.



Рис 14-12 Консольный быстроток

Для такого рода каналов, строго говоря, допущение о вертикальности живых сечений неприемлемо.

5. В следующей главе будет показано, что в случае бурного движения воды в быстротоках при их сужении, расширении или повороте (в плане) на свободной поверхности потока должны возникать так называемые косые волны, с которыми иногда нельзя не считаться при выполнении гидравлических расчетов.

6. Если быстроек (или нижний бьеф быстрогока) достаточно широк, причем выпуск воды в него осуществляется не по всей его ширине, то в быстроек (или нижнем бьефе) может возникнуть сбойное течение (сбойность).

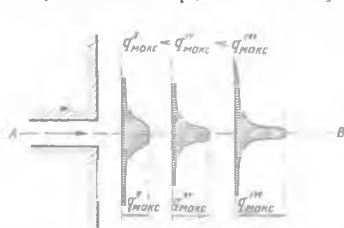


Рис. 14-13. План потока Сбойное движение («сбойность расхода»)

«противоположным» сбойности расхода является самопроизвольное расщепление потока в плане, когда величина  $q$  уменьшается вдоль динамической оси.

Часто при наличии сбойности динамическая ось прямолинейного потока искривляется в плане. Такого рода сбойность может быть названа сбойностью оси потока. Положение искривленной оси может быть устойчивым и неустойчивым (во времени).

Явление сбойности может наблюдаться и в каналах, которые были рассмотрены в гл. 6. Здесь при достаточно больших  $\beta = b/h$  (больших, например, 8-10) динамическая ось потока в силу тех или других — иногда случайных — причин, может отклониться (в плане) от геометрической оси канала (на том или другом его участке), причем в этом случае будет получаться «прижатие» потока (при спокойном движении) к одному из берегов канала, что может вызвать размыв русла.

#### § 14-6. СОПРЯЖЕНИЕ ДВУХ ВОДОЕМОВ ПРИ ПОМОЩИ ДЛИННОГО КАНАЛА

Как отмечалось в § 14-1, в случае длинного канала часто пренебрегают перепадом свободной поверхности на входном водосливе; при этом получают картину, показанную на рис. 14-14.

Обычно длинные каналы имеют малый уклон дна ( $i < i_*$ ), в связи с чем прыжка в них быть не может. Далее в будем рассматривать такой случай длинного канала

Рассчитывая длинный канал, различаем три задачи

1-я задача. Дана отметка  $V_A$  горизонта воды в водоеме А (рис. 14-14), причем считается, что  $V_A = \text{const}$ .<sup>1</sup> отметка горизонта воды  $V_B$  в водоеме Б считается пере-

<sup>1</sup> При решении рассматриваемых здесь задач предполагается, что размеры канала, уклон и шероховатость русла заданы.

ченной. Требуется вычислить зависимость  $Q = f_1(V_B)$ , а также установить как изменятся формы свободной поверхности при изменении отметки  $V_B$ .

При решении этой задачи поступаем следующим образом.

Глубина воды в начале канала

$$h_1 = V_A - V_0' = \text{const.} \quad (14-15)$$

где  $V_0'$  — известная отметка дна канала в его начале (в сечении 1-1); глубина воды в конце канала

$$h_2 = V_B - V_0'' \neq \text{const.} \quad (14-16)$$

где  $V_0''$  — известная отметка дна в его конце (в сечении 2-2).



Рис. 14-14. Длинный канал

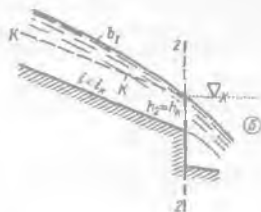


Рис 14-15. Истечение из длинного канала в атмосферу

Наибольшее возможное значение  $h_2$

$$(h_2)_{\text{макс}} = h_1 + l, \quad (14-17)$$

где  $l$  — длина канала;  $i$  — уклон дна канала.

В случае

$$(h_2)_{\text{макс}} > h_2 > h_1 \quad (14-18)$$

в канале будем иметь кривую подпора; если же

$$h_2 = h_1, \quad (14-19)$$

в канале будет иметь место равномерный режим, на конец при устье

$$h_K \leq h_2 \leq h_1, \quad (14-20)$$

в канале будем получать кривые спада.

Если максимальная глубина в сечении 2-2 определяется соотношением (14-17), то минимальная глубина в сечении 2-2, получающаяся, когда горизонт воды в водоеме Б опустится весьма низко, равняется (рис 14-15)

$$(h_2)_{\text{мин}} = h_K \quad (14-21)$$

При снижении отметки горизонта воды в водоеме Б ниже отметки  $V_K$ , определяемой глубиной  $h_K$ , картина движения в канале изменяться не будет, и раскол канала будет оставаться постоянным

Имея в виду сказанное, выясним, как изменяется расход воды  $Q$  при изменении  $h_2$  в пределах

$$(h_2)_{\text{мин}} \leq h_2 \leq (h_2)_{\text{макс}} \quad (14-22)$$

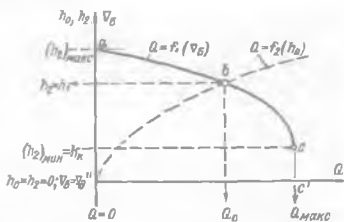


Рис. 14-16. Зависимость  $Q = f_1(V_B)$  для длинного канала

$$h_x \leq h_2 \leq (h_1 + iL) \quad (14-23)$$

Кривая  $Q = f_1(h_2)$  вычисляется следующим образом:

- 1) задаемся рядом значений  $Q$ ;
- 2) зная  $h_1$  для каждого заданного расхода  $Q$ , вычисляем по уравнению неравномерного движения глубину  $h_2$ .

В результате строим график, показанный на рис 14-16. На этот график наносим также кривую  $Q = f_2(h_0)$ , где  $h_0$  — нормальная глубина. Очевидно, участок кривой  $ab$  отвечает кривой подпора (типа  $a_1$ ), участок же кривой  $bc'$  — кривой спада (типа  $b_1$ )

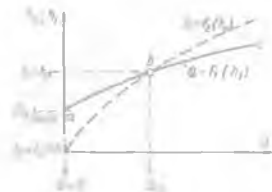


Рис. 14-17 Зависимость  $Q = f_1(h_1)$  для длинного канала

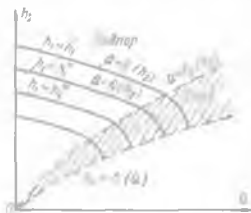


Рис. 14-18 Зависимость  $Q = f(h_1, h_2)$  для длинного канала

2-я задача. Дана отметка  $\nabla_B$  ( $\nabla_B = \text{const}$ ); отметка  $\nabla_A$  считается переменной. Требуется построить кривую зависимости  $Q = f(\nabla_A)$  или, что то же самое, кривую зависимости  $Q = f_1(h_1)$

Ясно, что минимальное значение  $h_1$ , которому отвечает горизонтальная свободная поверхность, равно:

$$(h_1)_{\text{мин}} = h_2 - iL \quad (14-24)$$

максимальное возможное значение его  $(h_1)_{\text{макс}} = \infty$ .

При  $h_1 = h_2$  имеем равномерный режим; при  $h_1 < h_2$  — подпор; при  $h_1 > h_2$  — спад. При построении кривой  $Q = f_1(h_1)$  задаемся в канале разными расходами  $Q$  и для каждого расхода, исходя из известной глубины  $h_2$ , по уравнению неравномерного движения вычисляем глубину  $h_1$ .

Кривая  $Q = f_1(h_1)$  имеет вид, представленный на рис. 14-17. На этом же чертеже нанесена кривая  $Q = f_2(h_0)$ . Участок  $ab$  кривой  $Q = f_1(h_1)$  отвечает подпор, участок  $bc$  — спаду.

3-я задача. Переменными являются обе отметки:  $\nabla_A$  и  $\nabla_B$ . Требуется выяснить зависимость  $Q = f(h_1, h_2)$ .

Эта задача сводится к решению 1-й задачи: берем некоторую глубину  $h'_1$  и строим для нее кривую  $Q = f_1(h_2)$ , затем задаемся другой глубиной  $h'_2$  и т. д.

Результаты расчета могут быть представлены графиком на рис. 14-18, где помимо искомых кривых  $Q = f_1(h_2)$ , нанесены еще кривые  $Q = f_2(h_0)$  и  $h_x = f_3(Q)$ . Заштрихованная зона этого графика отвечает спаду; зона же, расположенная выше кривой  $Q = f_2(h_0)$  (незаштрихованная) — подпору.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 14-1. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. — М.: Госэнергоиздат. 1964.
- 14-2. Использование водной энергии./Под ред. Д. С. Щавелева. — М. — Л.: Энергия, 1976.
- 14-3. Чертоусов М. Д. Гидравлика: Специальный курс. — М. — Л.: Госэнергоиздат. 1962