

Б.А. Бахметев

Гидравлика открытых русел

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Б11

Б11 **Б.А. Бахметев**
Гидравлика открытых русел / Б.А. Бахметев – М.: Книга по Требованию, 2021. –
248 с.

ISBN 978-5-458-58029-8

ISBN 978-5-458-58029-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем переводе введены следующие изменения и дополнения.

1) условные обозначения и терминология приняты в соответствии с таковыми, применяемыми в русской литературе по гидравлике;

2) как в тексте, так и в численных примерах и задачах приняты метрические меры, в связи с чем пришлось переработать многие эпюры. Эта большая работа была выполнена инж. Ф. Я. Нестеруком, при чем часть примеров пересчитана инж. В. Н. Шимко;

3) добавлен краткий англо-русский словарь гидравлических терминов, в целях облегчения пользования английской литературой.

Было бы очень желательно, чтобы лица, пользующиеся настоящей книгой, сообщили свои замечания в издательство по адресу: Москва, ул. Горького 35, Гострансиздат.

проф. *Е. Близняк*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

h — глубина наполнения или высота уровня.
 ω — площадь живого сечения.
 b — ширина русла.
 p — смоченный периметр.
 R — гидравлический радиус.
 C — коэффициент в формуле Шези.
 v — средняя скорость.
 Q — расход.
 i — уклон дна.
 J — поверхностный уклон.
 h_0 — нормальная глубина (глубина наполнения при равномерном режиме).
 W — работа.
 W_r — работа сил сопротивления.
 N — мощность.
 h_k — критическая глубина.

$h = \frac{\omega}{b}$ — средняя глубина.

v_k — критическая скорость.

Q_k — критический расход.

$i_k = \frac{q \cdot p}{c^2 \cdot b}$ — критический уклон.

i_{kn} — критический уклон при нормальной глубине.

i_{kk} — критический уклон при критической глубине.

γ — вес единицы объема жидкости.

e — количество энергии, заключающееся в единице веса протекающей через сечение жидкости, отнесенное к некоторой горизонтальной плоскости.

ϵ — удельная энергия сечения (т. е. энергия e , отнесенная к линии, проходящей через точку дна).

$K = \omega C \sqrt{R}$ — модуль расхода сечения.

n — гидравлический показатель.

$M = \omega \sqrt{\frac{\omega}{b}}$ — функция M .

λ — коэффициент кинетичности.

l_{m-n} — протяжение участка водотока между сечениями m и n .

L_m — расстояние сечения m от начальной нулевой точки.

$\eta = \frac{h}{h_0}$ — отношение переменной глубины водотока к нормальной глубине.

$B(\eta) = - \int_0^\eta \frac{d\eta}{\eta^n - 1}$ — функция неравномерного движения, получаемая проф. Б. А. Бахметевым.

$\beta = \frac{i}{i_k}$ — отношение донного уклона к критическому.

$\tau = \frac{h}{h_k}$ — отношение глубины h к критической глубине h_k .

$\delta = \frac{i_{\text{кк}}}{i_{\text{к}}}$ — отношение критического уклона при критической глубине h_0

к переменному критическому уклону при других уровнях.

$T(\tau)$ — функция неравномерного движения в канале с горизонтальным дном.

h_1 и h_2 — сопряженные глубины до и после прыжка.

y — высота прыжка.

ϵ_1 и ϵ_2 — удельная энергия до и после прыжка.

ϵy — потеря энергии в прыжке.

c — скорость распространения волны перемещения.

w — абсолютная скорость распространения волны перемещения.

d — высота волны перемещения.

z_0 — глубина до центра тяжести сечения.

$A(h) = \omega z_0 + \frac{Q^2}{\omega g}$ — функция A прыжка.

p — высота стенки водослива.

H — статический напор на водосливе.

Z — перепад (разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов).

t — глубина нижнего бьефа.

α — коэффициент сжатия.

φ — коэффициент скорости.

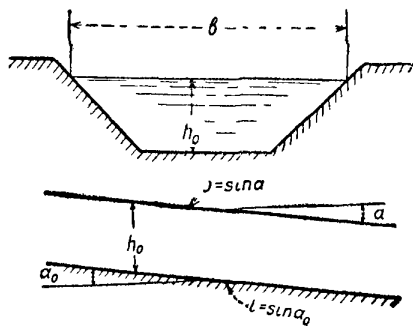
ζ — коэффициент сопротивления.

m — коэффициент расхода водослива.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

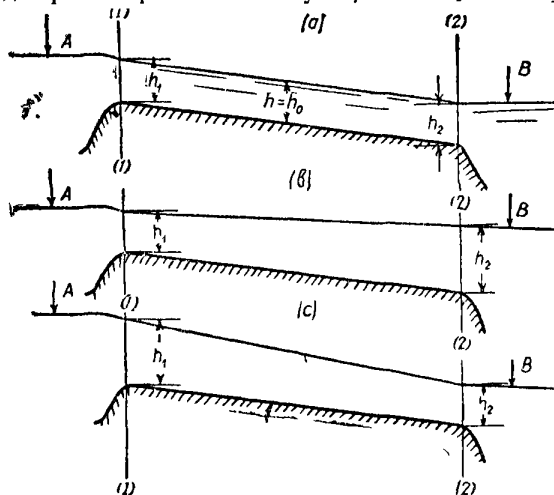
1. Равномерное движение. Если при движении жидкости в открытом русле (фиг. 1) глубина потока (наполнение) и прочие элементы, определяющие движение, как-то: площадь живого сечения ω , скорость v и гидравлический уклон J остаются постоянными по длине русла, то такое движение носит название „равномерного“. В этом случае уклон свободной поверхности $J = \sin \alpha$ одинаков с уклоном дна $\sin \alpha_0$.



Фиг. 1. Равномерное движение в канале.

Соблюдение этих необходимых для равномерности движения условий может, очевидно, иметь место в случае призматического русла, у которого живое сечение и уклон дна остаются неизменными. В естественных руслах движение практически почти всегда неравномерное.

В канале, соединяющем два водоема (фиг. 2а), движение жидкости будет равномерным в том случае, если глубины h_1 и h_2 , измеряемые соответ-

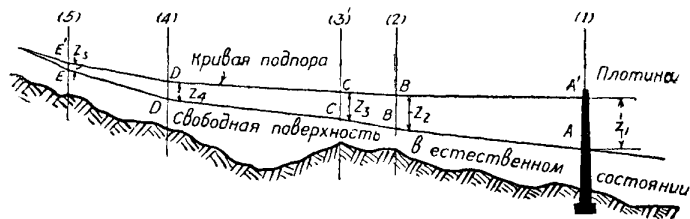


Фиг. 2. Равномерное и неравномерное движение в канале, соединяющем два водоема.

ственно от свободных поверхностей A и B , в голове и в конце канала, равны между собой. В случае равномерного движения в призматическом канале глубина воды в любом его сечении между (1) и (2) остается постоянной, т. е. $h = h_1 = h_2$.

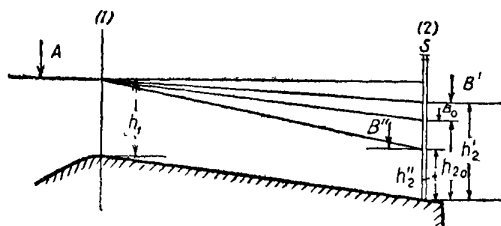
2. Неравномерное движение. В том случае, если глубина потока, площадь его живого сечения, скорость и гидравлический уклон изменяются вдоль по течению, движение жидкости называется „неравномерным“.

В качестве классического примера неравномерного режима рассмотрим кривую подпора (фиг. 3), образуемого плотиной. Величина подпора z умень-



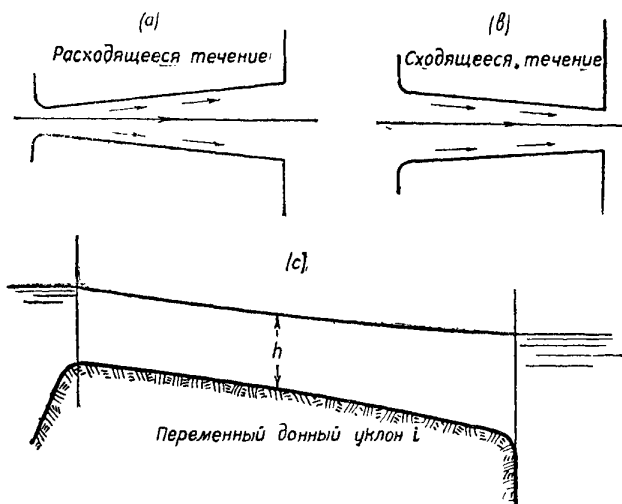
Фиг. 3. Кривая подпора в естественном водотоке.

шается вверх по течению, и подпорная кривая асимптотически приближается к линии поверхности воды. В существующих курсах гидравлики обычно рассматривается единственное приложение теории неравномерного движения — кривые подпора. Однако последние представляют одну из многочисленных проблем, с которыми приходится сталкиваться инженеру-гидротехнику в его практической работе. В качестве примера рассмотрим движение воды в канале (фиг. 2)



Фиг. 4. Неравномерное движение в канале в случае изменения уровня в конце его.

при разнице глубин в начале и в конце его. При $h_2 > h_1$ (фиг. 2в) движение жидкости будет неравномерное, и глубина потока возрастает вниз по течению; свободная поверхность уровня в этом случае принимает форму

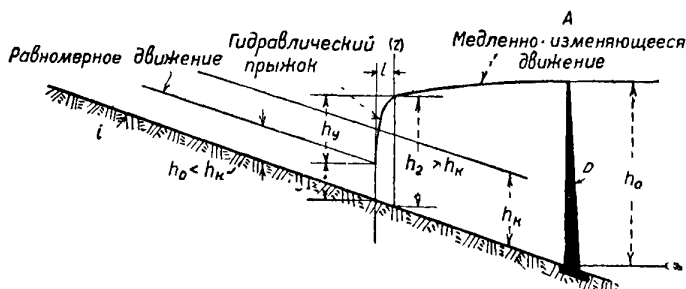


Фиг. 5.

так называемой „кривой подпора“. При $h_2 > h_1$ (фиг. 2с) глубина канала уменьшается к его концу; свободная поверхность в этом случае принимает форму „кривой спада“.

На фиг. 4 представлен другой важный случай приложения теории неравномерного движения в канале, уровень в котором регулируется при помощи затвора. Глубина h_2 изменяется в зависимости от открытия шлюза и соответствующих попусков воды. Кривая подпора графически представляется в виде линии AB' ; линия же AB'' соответствует кривой спада. Между этими значениями при $h_2 = h_1$ движение жидкости совершается равномерно. Чем ниже уровень B , т. е. чем меньше глубина h_2 , тем больше расход Q , заимствуемый из водохранилища A .

На фиг. 2 и 4 представлены весьма важные случаи неравномерного движения, а именно канал с *переменным расходом* и переменными уровнями в начале и в конце его.



Фиг. 6. Прыжок в естественном русле с большим уклоном дна.

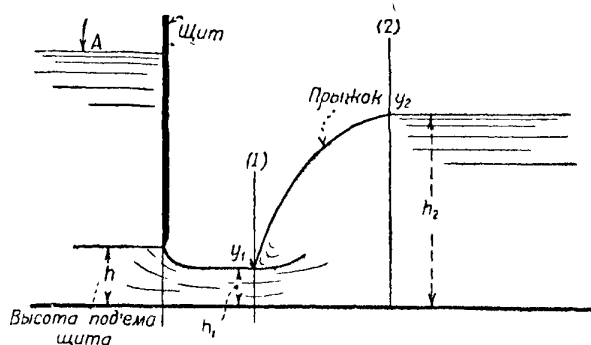
В естественных руслах (фиг. 3) живое сечение и прочие элементы движения изменяются вдоль по течению, и получается неравномерное движение в широком смысле этого слова. То же можно сказать и в отношении русла с расходящимися (фиг. 5а) и сходящимися (фиг. 5в) стенками и с переменным уклоном дна (фиг. 5с).

В противоположность представленному на фиг. 5 канал, изображенный на фиг. 2 и 4 с правильной и постоянной формой поперечного сечения и неизменяемым уклоном дна i , представляет случай *неравномерного движения* в призматическом русле. При современном состоянии гидравлики неравномерное движение в призматических руслах представляет наиболее важный случай, о котором главным образом и трактуется в настоящей книге.

3. Неустановившееся движение. В дальнейшем изложении мы исходим из предположения, что неравномерное и равномерное движение не изменяются по времени; т. е. глубина потока, его скорость и прочие обстоятельства движения, хотя и обусловливаются непрерывным изменением в любых двух сечениях, но остаются постоянными по времени. Такого рода движение называется „установившимся“, в противоположность неустановившемуся, переменному по времени движению. К области неустановившегося движения относятся явления волн на свободной поверхности потока; неустановившийся режим создается также и при регулировании расходов. Так, если

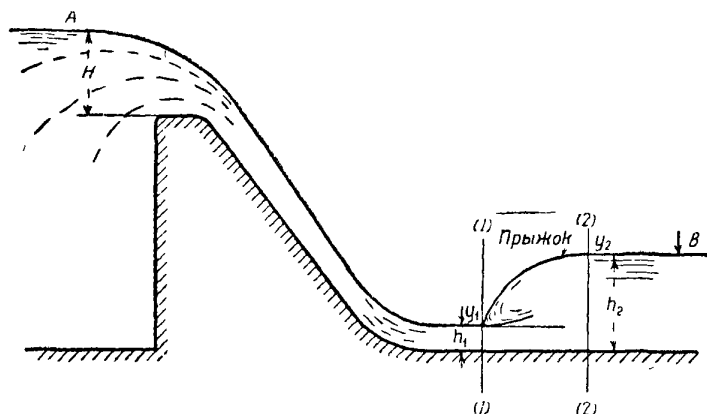
уровни A и B (фиг. 2) изменяются и глубины h_1 и h_2 подвержены колебаниям во времени, то в канале получается неустановившееся движение.

Рассмотрение явлений неустановившегося движения особенно сложно; при современном состоянии гидравлики лишь в самом ограниченном числе случаев является возможным получить имеющие практическое значение количественные результаты.



Фиг. 7. Прыжок в канале при встечении из-под щита.

достаточно крутой, происходит явление, изображенное на фиг. 6: протекая непрерывно до некоторого сечения (сечение 1 на фиг. 6), поверхность воды дает резкий прыжок вверх, так что на весьма коротком расстоянии глубина воды увеличивается с h_1 до h_2 . Это явление, называемое „прыжком“ воды, есть форма, связывающая течение на двух участках, где движение совершается непрерывно и изменение глубины происходит постепенно.

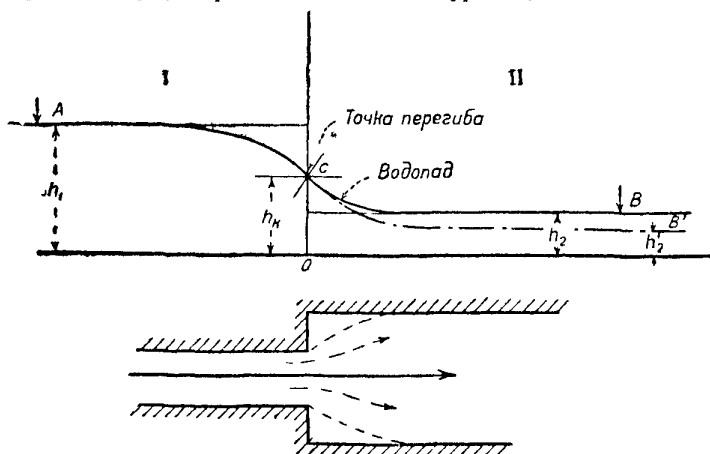


Фиг. 8. Прыжок у подошвы водосливной плотины.

На фиг. 7 изображен прыжок в случае истечения из-под поднятого на высоту h щита. Прыжок образуется между сжатым сечением h_1 и глубиной h_2 , которая может превышать величину h_1 в несколько раз.

На фиг. 8 изображено сопряжение ниспадающей с водослива струи с уровнем нижнего бьефа посредством прыжка.

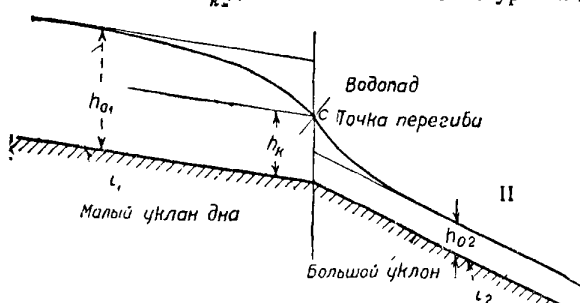
5. **Прыжок понижения или „водопад“.** Рассмотрим канал, имеющий внезапное расширение в сечении O (фиг. 9); пусть глубины на участках выше и ниже расширения равны соответственно h_1 и h_2 . В месте перехода течения с одного участка на другой свободная поверхность водотока принимает весьма крутую форму с резким понижением уровня; здесь мы имеем дело



Фиг. 9. „Водопад“ при внезапном расширении канала.

с так называемым „водопадом“¹. Характерным для „водопада“ является то, что уменьшению глубины на суженном участке поставлен предел h_k . Раз только глубина в точке C достигла h_k , дальнейшее понижение уровня B

уже не оказывает влияния на кривую свободной поверхности выше этой точки. Таким образом точка C с глубиной h_k является пределом, до которого можно понизить поверхность воды в незагрязненном естественном потоке при помощи „водопада“. Кроме того, как видно из фиг. 9, точка C представляет точку перегиба кривой спада свободной поверхности.



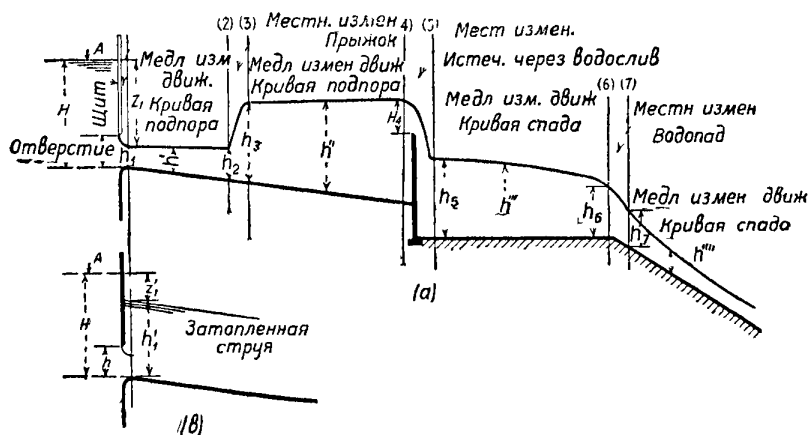
Фиг. 10. „Водопад“ при переходе от малого донного уклона к большому.

Явление „водопада“ имеет место и в случае истечения из канала с малым уклоном дна в канал большого уклона (фиг. 10). Здесь течение на участке I с глубиной h_{01} сопрягается с течением на участке II, с глубиной h_{02} , также при помощи „водопада“. Как и в предыдущем случае, глубина h_k

¹ Согласно Буссинеску (Boussinesq), по-французски „cataracte“. Это явление впервые было описано Базеном (Bazin) и названо им „прыжком понижения“ (фр. ressaut d'abaissement). Название „водопад“, как принятое проф. В. А. Бахметевым в его предыдущих трудах, взято и в настоящем переводе.

в точке перелома дна является наименьшей возможной глубиной, до которой может опуститься уровень на верхнем участке канала; точка *C* и здесь является точкой перегиба кривой свободной поверхности потока.

6. Местные явления и медленно изменяющееся движение. Как „гидравлический прыжок“, так и „водопад“ характеризуются быстрым изменением элементов движения на сравнительно небольшом протяжении. В этом смысле явления здесь отличаются от имеющих место на фиг. 2, 3 и 4, где изменение глубины становится заметным только на значительной длине. Соответственно этому, движение, представленное на фиг. 2, 3 и 4, будем называть (согласно Буссинеску) „медленно“ или „постепенно изменяющимся“; те же случаи, когда имеет место резкое изменение элементов, назовем движением с „местными изменениями“.



Фиг. 11. „Медленно изменяющееся“ движение, чередующееся с „местными изменениями“.

Водоток с изменяющимися элементами движения обычно представляется возможным разбить на ряд участков, на которых медленное изменение течения чередуется с местными изменениями. Такое, несколько искусственное, но наглядное изображение дано на фиг. 11, где участки с медленно изменяющимся движением разделены сравнительно короткими участками, на которых имеют место явления местного характера.

На фиг. 10 дана одна из задач „теории“ неравномерного движения. На самом деле предположим, что нам известны соответствующие местоположения, размеры и прочие характеристические черты различных сооружений. Допустим далее, что заданы положение начального уровня *A* и высота подъема щита *h*. Задача заключается прежде всего в определении общей картины движения, т. е. типа и общего вида различных кривых свободной поверхности на отдельных участках водотока, а также форм различных местных явлений; например, будет ли, при заданных условиях, ниспадающая с водослива струя „покрытой“ (фиг. 11, участок 4—5) или „свободной“ (фиг. 8); имеет ли место, в случае истечения из-под щита, „свободная“ (фиг. 11а, участок 1—2) или „затопленная“ (фиг. 11б) струя.