

Л. Л. ПААЛЬ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ
МЕСТНОГО РАЗМЫВА
В НИЖНЕМ БЬЕФЕ
СООРУЖЕНИЙ**

Ep. 6.7

TALLINNA POLÛTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 157

1959

Л. Л. ПААЛЬ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ
МЕСТНОГО РАЗМЫВА
В НИЖНЕМ БЬЕФЕ
СООРУЖЕНИЙ

ТАЛЛИН, 1959

ТАЛАННА РАЛТЭНАСЕ ІНСТІТУДІ ТОВАРНІ
ТАЛАННА РАЛТЭНАСЕ ІНСТІТУДІ ТОВАРНІ

1933

№ 157

Сопра А

В. В. ТАЛАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ В РАСТВОРАХ
В НАЖИМ-БЕФЕ
СОПРЯЖЕНИЯ

~~Ep. 3298~~

Ep. 3301



ТАЛАННА РАЛТЭНАСЕ ІНСТІТУДІ ТОВАРНІ

Введение

Удельные расходы воды, пропускаемые через современные гидротехнические сооружения, в несколько раз превышают расходы, наблюдаемые в естественных условиях. Стремление к сокращению длины водопропускного фронта сооружений требует всестороннего изучения вопросов гашения энергии в нижнем бьефе сооружений.

Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений показывает, что глубокие местные размывы русла в нижнем бьефе сооружений объясняются недостаточным гашением энергии стесненного в створе гидроузла потока.

Теоретическое решение задачи местного размыва русла на данном этапе развития науки не представляется возможным. Если для гладкого водобоя без гасителей закономерность осредненных и турбулентных характеристик потока достаточно изучена и мы имеем полуэмпирические расчетные формулы, то вопрос местного размыва изучен недостаточно.

Наиболее капитальными исследованиями в области местного размыва в нижнем бьефе сооружений являются работы М. С. Вызго, И. И. Леви и С. В. Избаша. Необходимо отметить, что количество экспериментальных данных, характеризующих развитие местного размыва за креплением, небольшое, причем они имеют часто противоречивый характер.

2. Процесс развития местных вымоин за водобоем

Длина участка реки, в пределах которого наблюдается интенсивное развитие процессов размыва, зависит от степени стеснения реки сооружениями и быстроты расширения потока в нижнем бьефе. Наибольшая глубина местных вымоин имеет всегда место непосредственно за крепле-

нием, где пульсационные компоненты скорости и давления потока как правило весьма велики. Сосредоточение потока в каком-либо одном направлении вследствие, например, неправильной схемы маневрирования затворами, может привести к образованию сбойности в нижнем бьефе плотины, что в свою очередь может ускорить процесс размыва.

Размыв русла определяется силовым воздействием водного потока на твердые частицы дна. Опыты показывают, что размывающая способность потока в конце водобоя значительно больше, чем в равномерном турбулентном потоке.

Интенсивное движение частиц грунта на дне потока без донного вальца в вымоине характеризует так называемую первую стадию размыва. В конце начальной стадии размыва глубина вымоины незначительна. Длительность первой стадии зависит главным образом от длины неразмываемого крепления нижнего бьефа и от крупности грунта ложа реки.

При дальнейшем углублении вымоины в ней возникает сильно пульсирующий донный валец, что и характеризует вторую стадию развития местного размыва. В этой стадии вынос грунта из воронки размыва происходит весьма быстро, причем ее глубина интенсивно увеличивается. В конце этой стадии размыв еще продолжается на нижнем откосе вымоины. Глубина воронки размыва в конце второй стадии приближается к максимальному значению.

Третья стадия характеризуется распространением размыва на значительное протяжение нижнего бьефа. Длительность третьей стадии размыва, по данным И. И. Леви [Л. 1], зависит главным образом от уклона реки.

Для предотвращения аварии крепления в нижнем бьефе гидротехнических сооружений необходимо предсказать ожидаемую глубину воронки за креплением. Максимальная глубина вымоины зависит от многочисленных факторов: гидравлического режима сопряжения бьефов, длины и вида крепления нижнего бьефа, крупности грунта ложа реки в нижнем бьефе и т. д.

Максимальная глубина вымоины в условиях донного режима сопряжения на гладком водобое без гасителей по нашему мнению зависит в первую очередь от:

- 1) длины крепления,
- 2) — диаметра грунта ложа реки в нижнем бьефе и

3) — характерных величин гидравлического прыжка на водобое (число Фруда в начальном сечении прыжка и коэффициент затопления прыжка).

3. Величина корректива кинетической энергии на водобое

Основной причиной возникновения местного размыва в нижнем бьефе является обстоятельство, что вся избыточная энергия, наблюдаемая в начальном сечении прыжка, не погашена в пределе крепления. Процесс гашения избыточной кинетической энергии по длине потока на водобое в достаточной мере характеризуется величиной корректива кинетической энергии $\bar{\alpha}$. Зная величину $\bar{\alpha}$ в конце крепления, мы можем уже в первом приближении оценить величину размывающей способности потока в том же сечении.

Так, например, М. С. Вызго [Л. 2] предлагает определить глубину потока в месте наибольшего размыва за горизонтальным креплением по формуле:

$$h_m = \bar{\alpha}_k^{0,25} h_0, \quad (1)$$

где $\bar{\alpha}_k$ — корректив кинетической энергии в конце крепления,

h_0 — глубина равномерного режима.

М. С. Вызго определяет корректив кинетической энергии $\bar{\alpha}_k$ в предположении, что величина последнего изменяется в пределах послепрыжкового участка по линейному закону.

Указанный метод М. С. Вызго для определения величин h_m и $\bar{\alpha}_k$ является однако весьма приближенным, что указывает на необходимость продолжения работ в данной области.

В условиях неразмываемого крепления нижнего бьефа нами предложено понятие так называемой универсальной координаты длины s [Л. 3], определяемой в виде:

$$s = x - L_B, \quad (2)$$

где x — расстояние от начала прыжка до рассматриваемого сечения и

L_B — длина первой зоны, в пределах которой происхо-

дит перестроение осредненных скоростей течения (рис. 1).

Длина L_B определялась опытами как

$$L_B = 8,6 (h_2 - h_1), \quad (3)$$

где h_2 — глубина потока на водобое и

h_1 — глубина в начальном сечении прыжка.

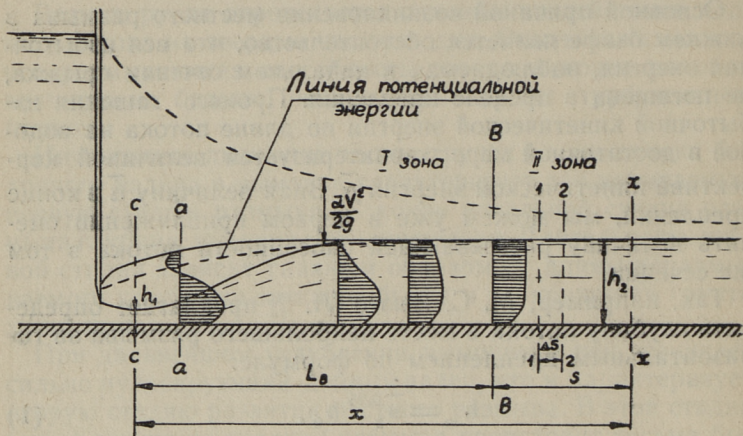


Рис. 1.

Если приближенно принять во второй зоне послепрыжкового участка $h_2 = \text{const}$. (рис. 1), а также учитывая в ней действие гидростатического закона распределения давления и одинаковые во всех сечениях эпюры осредненных скоростей, то закон количества движения в применении к отсеку потока, ограниченному двумя, весьма близкими сечениями 1—1 и 2—2, представится в виде:

$$(\bar{\alpha}_0 \rho V_2^2 h_2)_1 = (\bar{\alpha}_0 \rho V_2^2 h_2)_2 + \bar{\tau}_0 \Delta s, \quad (4)$$

где V_2 — средняя скорость потока на водобое,

$\bar{\tau}_0$ — осредненная величина касательного напряжения на дне потока,

Δs — расстояние между сечениями 1—1 и 2—2 и

$\bar{\alpha}_0$ — корректив количества движения.

Уравнение (4) можно переписать в виде:

$$\rho V_2^2 h_2 (\bar{\alpha}_{02} - \bar{\alpha}_{01}) = -\bar{\tau}_0 \Delta s. \quad (5)$$

Обозначая

$$\bar{\alpha}_{02} - \bar{\alpha}_{01} = -\bar{\alpha}_0$$

и переходя от конечных величин к дифференциалам, получим

$$\bar{\tau}_0 = \rho V_2^2 h_2 \frac{d\bar{\alpha}_0}{ds} \quad (6)$$

Касательное напряжение на стенке $\bar{\tau}_0$ в равномерном турбулентном потоке определяется формулой

$$\bar{\tau}_0 = \gamma R I, \quad (7)$$

где R — гидравлический радиус.

В условиях послепрыжкового участка можно в первом приближении гидравлический уклон I выразить зависимостью

$$I = \frac{d}{ds} \left(\frac{\bar{\alpha} V_2^2}{2g} \right). \quad (8)$$

Так как во второй зоне $V_2 = \text{const}$, можно, принимая $R = h_2$, вместо (7) написать

$$\bar{\tau}_0 = \gamma \frac{V_2^2}{2g} h_2 \frac{d\bar{\alpha}}{ds}. \quad (9)$$

Приравнивая правые части уравнений (6) и (9), будем иметь

$$\frac{d\bar{\alpha}_0}{ds} = \frac{1}{2} \frac{d\bar{\alpha}}{ds}. \quad (10)$$

Интегрирование уравнения (10) дает

$$2\bar{\alpha}_0 = \bar{\alpha} + C, \quad (11)$$

где C — постоянная интегрирования, определяемая граничными условиями.

Действительно задаваясь $\bar{\alpha}_0 = 1$ получаем $\bar{\alpha} = 1$ и $C = 1$.

Подставляя $C = 1$ в (11), получим

$$\alpha = 2\bar{\alpha}_0 - 1. \quad (12)$$

Корректив количества движения $\bar{\alpha}_0$ в нижнем бьефе, учитывающий неравномерность распределения осреднен-

ных скоростей, а также пульсацию скоростей, можно выразить приближенным уравнением [Л. 3]:

$$\bar{\alpha}_0 = 1 + 2000 \left(\frac{s}{h_k} + 20 \right)^{-3}, \quad (13)$$

где h_k — критическая глубина.

Имея ввиду уравнения (12) и (13), корректив кинетической энергии $\bar{\alpha}$ можно определить формулой:

$$\bar{\alpha} = 1 + 4000 \left(\frac{s}{h_k} + 20 \right)^{-3}. \quad (14)$$

Напомним, что формула (14), характеризующая изменение корректива кинетической энергии по длине потока, получена в предположении неразрывности русла.

При изучении местного размыва за креплением формулу (14) можно применять только в пределах водобоя и рисбермы, т. е. до конечного сечения крепления.

В конце крепления, где $x=L_k$, формула (2) примет вид

$$S_k = L_k - L_B. \quad (15)$$

Таким образом корректив кинетической энергии в конце крепления определяется формулой

$$\bar{\alpha}_0 = 1 + 4000 \left(\frac{S_k}{h_k} + 20 \right)^{-3}. \quad (16)$$

Исходя из опытных данных Д. И. Кумина [Л. 4], нами была получена формула [Л. 3] для характеристики затухания пульсации скоростей, которая в конечном сечении крепления принимает вид

$$M_2 = 85 \left(\frac{S_k}{h_k} + 20 \right)^{-1,5}. \quad (17)$$

Исключая из уравнений (16) и (17) величину $\frac{S_k}{h_k}$, получим:

$$\bar{\alpha}_k = 1 + \frac{5}{9} M_2^2. \quad (18)$$

Необходимо отметить, что, исходя из иных предположений, к аналогичному результату пришел также Д. И. Кумин [Л. 4].

4. Гидравлическая характеристика потока на участке местных вымоин

В вымоине величина корректива $\bar{\alpha}$ зависит от нескольких факторов, причем одним из основных факторов является глубина местного размыва. Определение величины корректива кинетической энергии $\bar{\alpha}$ в вымоине возможно лишь опытным путем. Ее теоретическое определение в пределах местного размыва в настоящее время не представляется возможным, так как функция распределения скоростей по вертикали нам не известна.

Опыты показывают, что наибольшая глубина размыва будет иметь место недалеко от конца крепления. Согласно уравнению (8) гидравлический уклон в конце крепления (сечение к-к рис. 2) в первом приближении определяется формулой

$$I_k = \frac{d}{ds} \left(\frac{\bar{\alpha}_k V_2^2}{2g} \right). \quad (19)$$

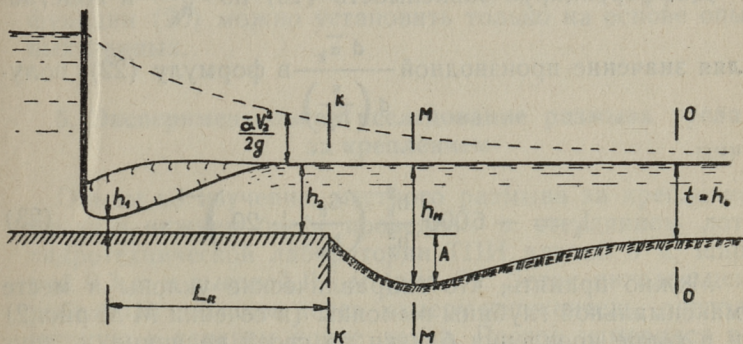


Рис. 2.

Если иметь в виду, что

$$V_2 = \frac{q}{h_2},$$

то уравнение (19) можно переписать в виде

$$I_k = \frac{d}{ds} \left(\frac{\bar{\alpha}_k q^2}{2g h_2^2} \right) = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{h_2^2} \frac{d\bar{\alpha}_k}{ds} - \frac{2\bar{\alpha}_k}{h_2^3} \frac{dh_2}{ds} \right). \quad (20)$$

В условиях горизонтального крепления на водобое и рисберме $h_2 = \text{const}$, т. е. $\frac{d h_2}{d s} = 0$ и уравнение (20) принимает вид

$$I_k = \frac{q^2}{2g h_2^2} \frac{d \bar{\alpha}_k}{d s}. \quad (21)$$

Далее, принимая, что

$$h_k^3 = \frac{q^2}{g},$$

получим

$$I_k = \frac{h_k^2}{2 h_2^2} \frac{d \bar{\alpha}_k}{d \left(\frac{S}{h_k} \right)}, \quad (22)$$

где h_k — критическая глубина *).

Дифференцируя зависимость (16) по $\frac{s}{h_k}$ и подставляя значение производной $\frac{d \bar{\alpha}_k}{d \left(\frac{s}{h_k} \right)}$ в формулу (22), полу-

чим

$$I_k = -6000 \frac{h_k^2}{h_2^2} \left(\frac{S_k}{h_k} + 20 \right)^{-4}. \quad (23)$$

Можно принять, что гидравлические уклоны в месте максимальной глубины вымоины (в сечении М-М рис. 2) и в конце крепления близки по своей величине к друг другу. Таким образом в первом приближении

$$I_k \cong I_m, \quad (24)$$

где I_m — гидравлический уклон в месте максимальной глубины вымоины.

В условиях равномерного движения В. С. Кнороз [Л. 3] получил условие предельного состояния размыва в

*) В настоящей работе принимается условно при расчете критической глубины $\bar{\alpha}=1$.

виде

$$u_{*0} = \sqrt{g R I} = 0,208 \sqrt{g d},$$

где d — диаметр размываемого материала.

Принимая $R=h$, получаем

$$h = 0,0433 \frac{d}{I}.$$

Глубину потока в месте максимальной вымоины можно определить аналогично.

$$h_m = k \frac{d}{h_m}. \quad (25)$$

Выравнивая (23), (24) и (25), можно написать в общем виде

$$\frac{h_m}{h_2} = F \left(\frac{h_2 d}{h_k^2} \cdot \frac{S_k}{h_k} \right). \quad (26)$$

Учитывая целый ряд сделанных предположений, вид функции (26) можно установить только на основе опытных данных.

5. Экспериментальное исследование размыва русла за креплением

Опыты по изучению местного размыва за креплением русла в нижнем бьефе проведены в стеклянном лотке гидротехнической лаборатории ТПИ длиной 6 м, шириной 0,3 м и высотой 0,6 м (рис. 3). Лоток питался центробежным насосом через камеру-успокоитель, расположенную в верхнем конце лотка. Расход измерялся при помощи водослива с тонкой стенкой прямоугольного очертания. Тарировался водослив объемным способом. Подпор в лотке создавался специальными жалюзи, установленными в нижнем конце лотка. Горизонты воды верхнего и нижнего бьефа регистрировались при помощи пьезометров. Очертания воронки размыва измерялись мерной иглой.

Неразмываемая часть водобоя монтировалась из бетонных плит, верхняя сторона которых покрывалась цементным раствором. За водобоем до уровня последнего укладывался песок. Исследования проводились с песком

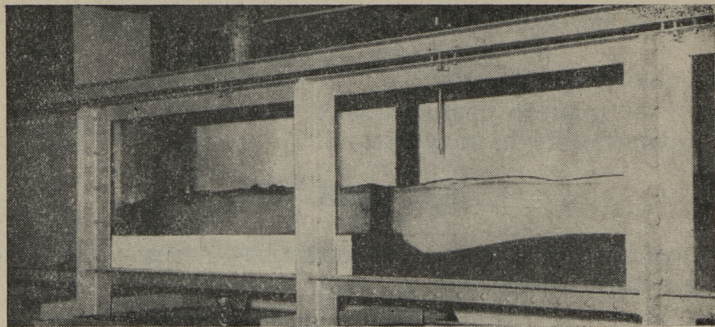


Рис. 3.

со средним диаметром 0,60; 1,50 и 3,00 мм. Средний диаметр песка определялся как среднее — взвешенное по весу

$$d_{\text{cp}} = \frac{d_1 G_1 + d_2 G_2 + \dots + d_n G_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n}, \quad (27)$$

где d_i — средний диаметр песка между отдельными ситами в миллиметрах,

G_i — соответственный вес песка.

Всего было проведено 27 опытов. Число Фруда в сжатом сечении колебалось в пределах от 4,9 до 67,0, коэффициент затопления прыжка от 1,0 до 1,98. Длина неразмываемого водобоя принималась от $L_k = 4,1h_2$ до $L_k = 25,0h_2$. Опытные данные приведены в таблице 1.

Длительность каждого опыта выбиралась с таким расчетом, чтобы к концу опыта размыв достигал предельного состояния. Практически длительность опытов составляло 40—50 часов. На рис. 4 и 5 показано развитие местного размыва во времени. Как видно, размыв в области вымоины достигал почти предельного состояния, ниже вымоины размыв в то же время еще продолжался. По данным И. И. Леви [Л. 1] развитие размыва в нижнем бьефе может вызвать дополнительное углубление первоначально образовавшейся вымоины. Однако это углубление незначительное.

Из вышеприведенного следует, что точность определения глубины местного размыва зависит от продолжитель-

опыт № 6

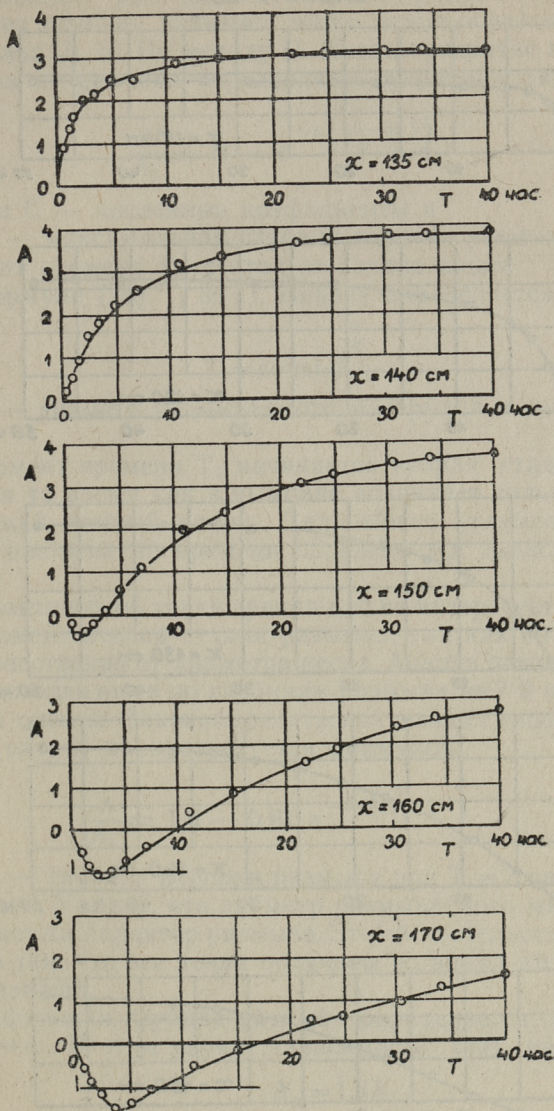


Рис. 4.

опыт № 23

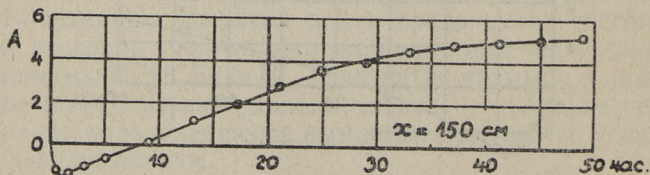
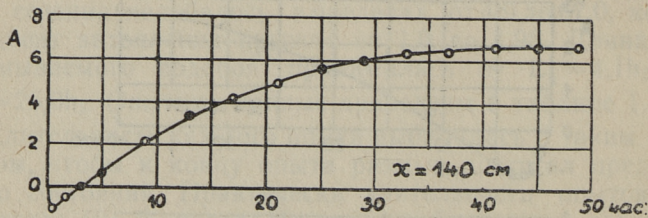
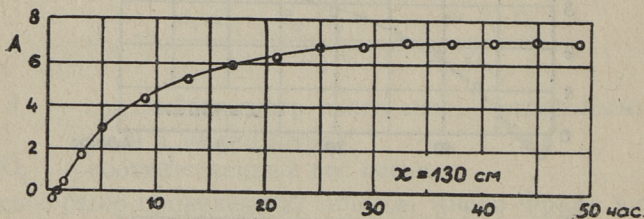
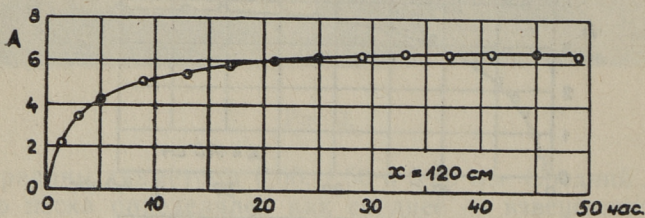
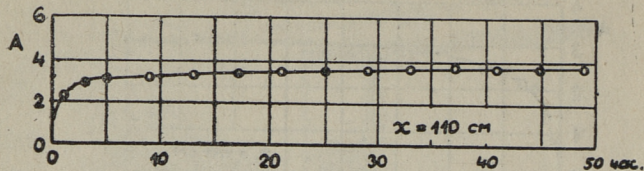


Рис. 5.

ности опыта. Для оценки влияния продолжительности опыта на глубину размыва нами использовался метод П. Новака [Л. 5]. По методу П. Новака развитие глубины размыва во времени определяется зависимостью:

$$\frac{A}{A_1} = B - e^{-c\left(\frac{T}{T_1} + 1\right)}, \quad (28)$$

где B и C — численные коэффициенты и

A_1 — максимальная глубина воронки размыва в момент времени T_1 , считая от начала опыта.

В формуле (28) T_1 по П. Новаку определяется в виде:

$$T_1 = \text{const} \cdot d^{\frac{3}{2}}, \quad (29)$$

где d — диаметр размываемого материала в миллиметрах.

В момент времени T_1 начинается вторая стадия размыва, в то время как в вымоине возникает сильно пульсирующий донный валец. Дальнейшее углубление воронки размыва во времени определяется зависимостью (28).

С практической точки зрения нас не интересует начальный момент второй стадии размыва, так как он зависит непосредственно от диаметра песка. Анализ опытных данных проведен нами по глубинам размыва на 7-й час после начала опытов. Закономерность, полученная нашими опытами (рис. 6) характеризуется формулой:

$$\frac{A}{A_1} = 1,6 - 0,61 e^{-0,5\left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}, \quad (30)$$

где A_1 — глубина воронки размыва при $T_1 = 7$ часам.

Из рис. 6 видно, что диаметр размываемого материала не влияет на характер размыва. Это обстоятельство объясняется тем, что все точки получены во время второй стадии размыва.

Наибольшая глубина размыва определяется при условии $T \rightarrow \infty$. В этом случае зависимость (30) имеет вид

$$A_m = 1,6A_1. \quad (31)$$

Анализ опытных данных показывает однако, что уже после 40—50 часов размыва глубина воронки размыва лишь на 5% меньше предельной.

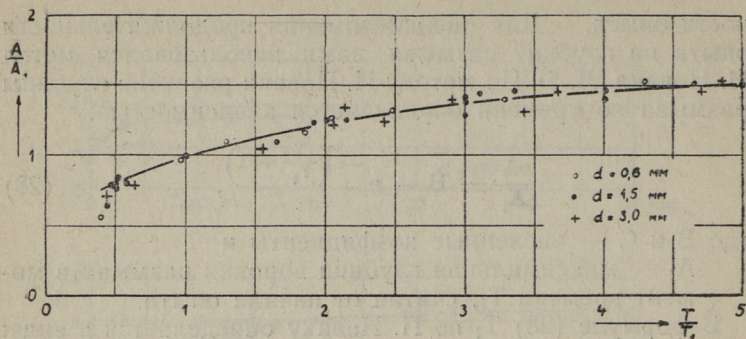


Рис. 6.

Глубина потока в сечении наибольшего размыва определяется формулой

$$h_m = A_m + h_2. \quad (32)$$

Соответственные данные, полученные по формулам (31) и (32), приведены в таблице 1.

Для уточнения влияния длины крепления на максимальную глубину вымоины нами была проведена серия специальных опытов с различными длинами водобоя (рис. 7). Нетрудно убедиться, что возникающие воронки размыва одинаковы по форме и отличаются друг от друга лишь своей глубиной.

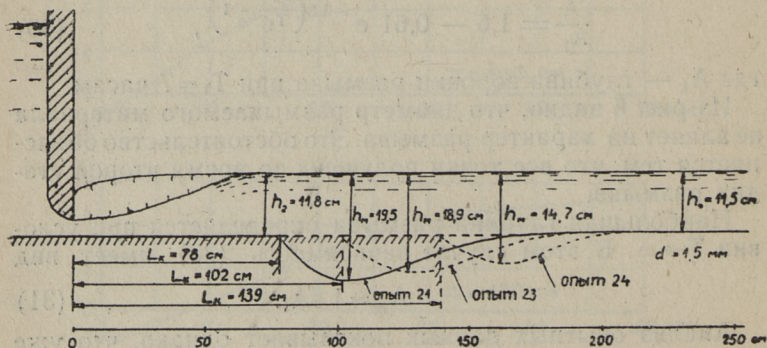


Рис. 7.

Из рис. 7 видно также, что за водобоем на дне потока образуется небольшая вертикальная ступень с последующим пологим откосом.

Таблица I

№ ОПЫТА	L_k	h_1	h_2	q	h_k	h_m	$\frac{S_k}{h_k}$	$\frac{h_m}{h_2}$	$\frac{h_2 a}{h_k^2}$
	СМ	СМ	СМ	СМ ² /сек	СМ	СМ			
$d = 0,6 \text{ мм}$									
1	108	3,3	19,2	532	6,61	34,9	-4,2	1,81	0,0262
2	139	3,3	19,1	605	7,19	33,6	0,5	1,76	0,0220
3	108	2,1	14,8	429	5,72	28,0	-0,2	1,89	0,0273
4	101	1,4	12,5	303	4,54	20,0	1,2	1,60	0,0362
5	139	2,1	14,2	444	5,85	23,0	5,6	1,62	0,0421
6	127	1,4	12,5	303	4,54	16,3	7,0	1,30	0,0362
7	178	3,7	17,5	695	7,90	32,3	7,6	1,85	0,0168
8	178	3,0	17,2	540	6,68	26,4	8,5	1,53	0,0232
9	178	3,7	15,9	501	6,34	23,9	11,6	1,50	0,0237
10	139	2,1	11,7	377	5,25	19,4	10,8	1,65	0,0255
11	108	1,4	9,0	243	3,92	14,1	10,7	1,57	0,0348
12	178	2,1	13,2	412	5,58	18,6	14,8	1,41	0,0253
13	225	2,1	14,3	460	5,99	18,6	20,0	1,30	0,0238
14	225	2,1	11,9	390	5,38	14,3	26,0	1,20	0,0248
15	225	2,1	11,6	389	5,36	15,2	26,2	1,27	0,0250
16	276	2,1	13,3	411	5,56	15,3	32,1	1,15	0,0258
17	276	2,1	11,7	373	5,21	11,7	37,1	1,0	0,0260
18	276	2,1	11,1	362	5,11	11,1	38,9	1,0	0,0253
$d = 1,5 \text{ мм}$									
19	102	2,7	17,6	425	5,69	28,6	-4,6	1,62	0,0815
20	68	0,9	10,6	217	3,63	14,1	-3,1	1,33	0,1200
21	78	2,7	11,8	425	5,69	19,5	-0,1	1,65	0,0545
22	102	2,7	14,3	425	5,69	22,4	0,4	1,57	0,0661
23	102	2,7	11,8	425	5,69	18,9	4,1	1,60	0,0545
24	139	2,7	11,8	425	5,69	14,7	10,6	1,25	0,0545
$d = 3,0 \text{ мм}$									
25	102	2,7	17,6	425	5,69	20,2	-4,6	1,15	0,1630
26	102	2,7	17,3	577	6,83	22,8	-3,4	1,32	0,1120
27	102	2,7	14,3	425	5,69	16,8	0,4	1,17	0,1320

6. Расчетные формулы местных вымоин

Поток характеризуется в воронке размыва общей функцией (26). Ее анализ показывает, что влияние длины крепления, а также влияние числа Фруда, коэффициента

затопления прыжка и диаметр размываемого материала учитываются зависимостью (26).

В результате обработки опытных данных (27 опытов) нами получена следующая расчетная формула для определения глубины потока в месте наибольшего размыва:

$$\frac{h_m}{h_2} = 130 - 0,0154 \frac{h_2 d}{h_k^2} \left(\frac{S_k}{h_2} + 20 \right)^2. \quad (33)$$

На рис. 8 в координатах $\frac{h_2 d}{h_k^2}$ и $\frac{S_k}{h_2}$ представлены

опытные данные, а также кривые, подсчитанные по формуле (33). Расброс опытных точек не превышает 15%, что можно считать приемлемым.

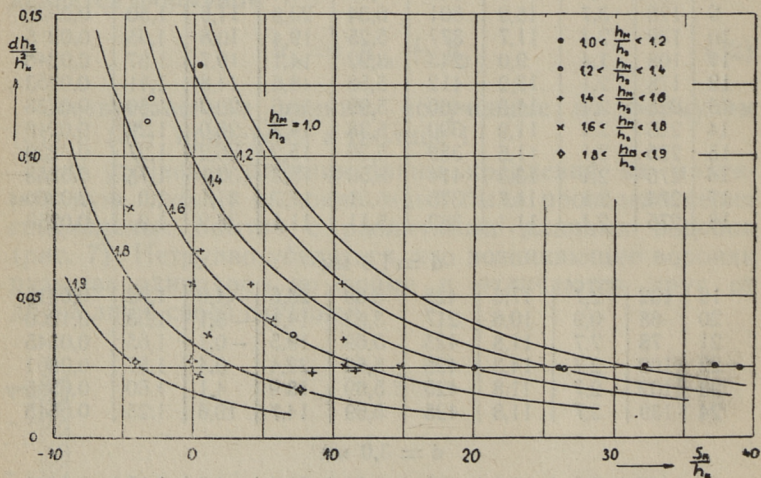


Рис. 8.

Анализ уравнения (33) показывает, что при $\frac{h_m}{h_2} = 1$ воронка размыва не образуется и в данном случае (33) можно представить в виде

$$\frac{h_2 d}{h_k^2} = 65 \left(\frac{S_k}{h_2} + 20 \right)^{-2}. \quad (34)$$

Формула (34) получена нами для определения диаметра камня в наброске рисбермы [Л. 3].

Заключение: формулу (33) можно рекомендовать для практических расчетов глубины потока в месте наибольшего размыва в условиях донного режима сопряжения на горизонтальном водобое без гасителей энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леви, И. И. Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений, 1955.
2. Вызго М. С. О местном размыве за горизонтальным креплением и падающей струей, Гидротехническое строительство, 1954, № 5.
3. Пааль Л. Л. Гашение энергии в нижнем бьефе сооружений в условиях донного режима сопряжения, Труды Таллинского Политехнического Института, Серия А, № 116, 1957.
4. Кумин Д. И. Турбулентность и гашение энергии при сопряжении бьефов, Известия ВНИИГ, т. 55, 1956.
5. Novák, P. Hýdrotechnický výzkum vývarů a výmolů v podjezí, Praha — Podbaba, 1956.

Л. Л. Пааль

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ СООРУЖЕНИИ

Таллинский Политехнический Институт

*

Редактор Х. Вельнер
Технический редактор А. Тамм
Корректор У. Лийв

Сдано в набор 12 III 1959. Подписано к печати 18 IV 1959. Бумага 54×84¹/₁₆. Печатных листов 1,25. По формату 60×92 печатных листов 1,03. Учетно-издательских листов 0,72. Тираж 500. МВ-03738. Заказ № 974.

Типография «Юхисэлу», Таллин, ул. Пикк 40/42.

Цена 50 коп.

Цена 50 коп.