

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАРРАЖЕЙ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ДНА ОВРАГА

1 Исходные данные

Барражи – сооружения в виде подпорной стенки, применяемые в горных участках для защиты дорог от овражных выносов во время ливней. Барражи устраиваются поперёк оврага в один или несколько рядов, преграждая путь водотоку. Во время ливней вода переливается через барраж, а выносы породы остаются в овраге около барража (рис. 1). По мере заиления оврага и занесения барража последние надстраиваются или устраиваются новые обычно из сухой каменной кладки по типу подпорных стенок высотой около 2-3 м [1].

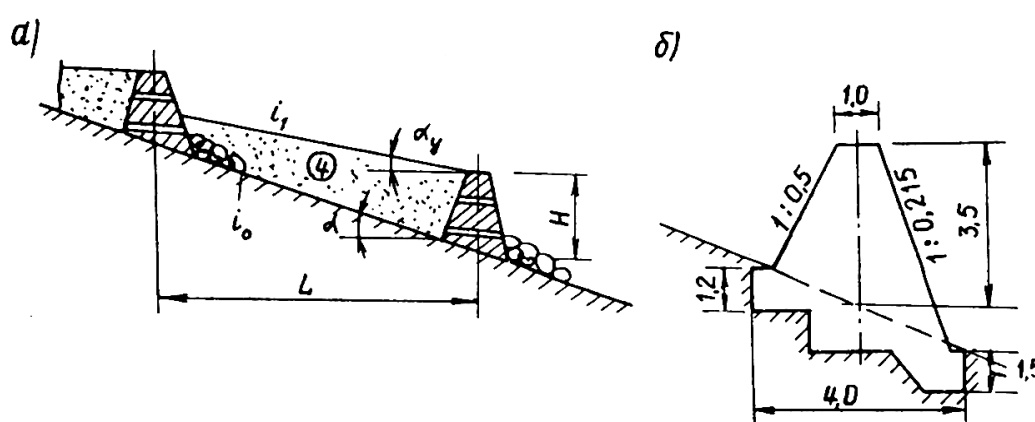


Рисунок 1 – Система барражей; а – каскад барражей; б – поперечное сечение барража [2]

Барражи устраивают в том случае, когда овраги характеризуются наличием селевых потоков¹, большими расходами воды и большими уклонами.

Для проектирования каскада барражей необходимо задать следующие данные [3]:

- продольный уклон дна оврага i_0 ;
- план оврага в крупном масштабе 1:200; 1:500; 1:1000;
- ширина оврага по дну b ;
- поперечное сечение оврага с крутизной откосов оврага: $1:m$ (1:1,5);
- расход воды в начале оврага $Q_в$;
- преобладающий размер камней, движущихся в направлении потока, d ;

¹ **Сель** (по араб. – «бурный поток») – поток с очень большой концентрацией минеральных частиц, камней и обломков горных пород (до 50–60% объёма потока), внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек и вызываемый, как правило, ливневыми осадками или бурным таянием снегов. Сель – нечто среднее между жидкой и твёрдой массой. Это явление кратковременное (обычно оно длится 1–3 ч), характерное для малых водотоков длиной до 25–30 км и с площадью водосбора до 50–100 км².

- объёмный вес наносов γ_n ;
- разность отметок верха и низа оврага, H .

2 Определение расхода селевого потока или паводка

В зависимости от насыщенности потока минеральными частицами селевые потоки делятся на:

- *селевые потоки (потоки)*, состоящие из грязи или из грязи с камнями;
- *селевые паводки (паводки)*, состоящие из воды и камней.

2.1 Расчётный максимальный расход воды Q_B , м³/с определяют по параметрам водосборного бассейна, номеру ливневого района и другим характеристикам [4, 5]. Вероятность превышения расчетного максимального расхода воды назначают, как для малых мостов и труб: для дорог I-й категории – 1 %; II-й и III-й категории – 2 %; категорий IV и V – 3 % [6].

2.2 Находят коэффициент, учитывающий влияние среднего продольного уклона оврага i_0 ,

$$m_i = 3,0 - \frac{0,3}{0,1 + 4,8 \cdot i_0^{1,4}}. \quad (1)$$

2.3 Определяют по табл. 1 коэффициент μ – отношение площади селеобразующих очагов F_1 к площади водосбора F ,

$$\mu = \frac{F_1}{F}. \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения коэффициента μ для селевых потоков и паводков

Селевой поток		Селевой паводок	
m_μ	μ	m_μ	μ
0,01	0,025	0,05	0,025
0,05	0,035	0,01	0,03
0,01	0,05	0,02	0,042
0,02	0,1	0,03	0,06
0,03	0,15	0,05	0,1
0,04	0,19	0,1	0,23
0,5	0,22	0,2	0,35
0,1	0,35	0,5	0,43
0,5	0,5		

2.4 Далее, вычисляют коэффициент, учитывающий влияние размеров площади селеобразующих очагов в бассейне,

$$m_{\mu} = \begin{cases} 0,525 - \frac{0,5}{0,1 + 5,5\mu^{1,5}} - \text{поток,} \\ 0,425 - \frac{0,04}{0,1 + 10\mu^2} - \text{паводок.} \end{cases} \quad (3)$$

2.5 Находят объёмную концентрацию твёрдого стока селевых потоков (паводков)

$$\beta_{\mu} = k_1 \cdot m_i \cdot m_{\mu}, \quad (4)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение коэффициента стока против его обычных значений

$$k_1 = \begin{cases} 1,1 - \text{поток,} \\ 1,0 - \text{паводок;} \end{cases} \quad (5)$$

2.6 Вычисляют коэффициент

$$\beta_0 = \beta_{\mu} \cdot k_2, \quad (6)$$

где k_2 – коэффициент, учитывающий соотношение между объёмом выносов, остающихся на конусе выноса, и объёмом взвешенных наносов, увлечённых за пределы конуса выноса

$$k_2 = \begin{cases} 1,0 - \text{селевой поток,} \\ 1,5 - \text{селевой паводок,} \\ 1,75 - \text{водный паводок.} \end{cases} \quad (7)$$

2.7 Находят максимальный расход селевого потока или паводка по эмпирической формуле

$$Q_c = (\beta_0 + 1) \cdot Q_v, \quad (8)$$

3 Вычисление глубины селевого потока

Глубину селевого потока (паводка) определяют методом последовательных приближений.

3.1 Назначают начальную глубину потока h_0 , м.

3.2 Определяют площадь живого сечения селевого потока

$$\omega = b \cdot h_0 + m \cdot h_0^2. \quad (9)$$

3.3 Смоченный периметр

$$\chi = b + 2h_0 \cdot \sqrt{1 + m^2}. \quad (10)$$

3.4 Гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (11)$$

3.5 Назначают коэффициент шероховатости (см. приложение А). Так как русло в овраге обладает значительной шероховатостью, то $n = 0,03 \div 0,04$ [7].

3.6 Коэффициент Шези или скоростной множитель², определяемый по формуле Н.Н. Павловского,

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (12)$$

Показатель степени y зависит от коэффициента шероховатости n и гидравлического радиуса R . Для практических целей обычно применяется одна из следующих упрощенных форм выражения:

$$y = \begin{cases} 1,5\sqrt{n} & \text{при } R < 1\text{м,} \\ 1,3\sqrt{n} & \text{при } R \geq 1\text{м.} \end{cases} \quad (13)$$

По рекомендации инженера И.И. Херхеулидзе $y = 0,333 \div 0,5$ [3, 7].

3.7 Скорость движения селевого потока (паводка)

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0}. \quad (14)$$

3.8 Расход

$$Q = v \cdot \omega. \quad (15)$$

3.9 Погрешность

$$\varepsilon = \frac{Q - Q_c}{Q_c} \cdot 100. \quad (16)$$

Если $\varepsilon < 5\%$, то глубина потока считается найденной, иначе увеличивают глубину потока на 0,05 или 0,1 м и повторяют расчёты по формулам (1) – (7) до тех пор, пока условие не начнёт соблюдаться. Для удобства данные сводят в таблицу (см. табл. 1).

Таблица 2 – результаты расчётов по методу последовательных приближений

h , м	ω , м ²	χ , м	R , м	C , $\sqrt{\text{м}}/\text{сек}$	v , м/с	Q , м ³ /с	ε , %

² Коэффициент Шези играет в практических расчетах важную роль и поэтому должен определяться возможно точнее. Величина коэффициента C зависит от шероховатости стенок и дна русла, от геометрической формы и размеров поперечного сечения русла и определяется по эмпирическим формулам, предложенным различными авторами на основе опытных данных.

4 Вычисление предельной скорости передвижения наносов и уравнительного уклона

4.1 Определяют *весовое содержание наносов* в потоке (паводке), кН/м^3 ,

$$P = \frac{\beta_{\mu} \gamma_{\text{н}}}{1 + \beta_{\mu}}, \quad (14)$$

где $\gamma_{\text{н}}=24 \div 28 \text{ кН/м}^3$.

4.2 Предельную скорость передвижения наносов³ определяют по эмпирической формуле инженера И.И. Херхеулидзе [3, 7]. Учитывая, что весовое содержание в данном конспекте переведено в систему СИ, формула будет иметь вид

$$v_{\text{н}} = 4,5 \sqrt{d(0,1 \cdot \gamma_{\text{н}} - 1)(1 - 0,001P)}. \quad (15)$$

4.3 Уравнительный уклон определяют по формуле А. Брилинского

$$i_y = \frac{10d(1 - 0,01P)(0,1\gamma_{\text{н}} - 1)}{c^2 \cdot R}. \quad (16)$$

5 Расчёт каскада барражей

5.1 Назначают высоту барража h (например, 1,5 м).

5.2 Вычисляют расстояние между барражами

$$l = \frac{h}{i_0 - i_y}. \quad (17)$$

5.3 Определяют разность высот между соседними барражами

$$h_1 = \frac{h \cdot i_0}{i_0 - i_y}. \quad (18)$$

5.4 Общее количество барражей

$$N = \frac{H}{h_1}. \quad (19)$$

5.5 Находят толщину барража поверху

$$b_c = 0,5(h_2 - H_1 \cdot i_1), \quad (20)$$

где h_2 – высота барража с верховой стороны, м; H_1 – высота барража с низовой стороны, м; i_1 – уклон передней грани барража, равный 0,2. Ширину b_c назначают не менее 1 м. В дальнейшем, примем $b_c = 1$ м.

³ Скорость движения селя (передвижения наносов) является сложной функцией его расхода, плотности селевой смеси, гранулометрического состава его твердой составляющей, морфометрии русла, геометрических характеристик потока.

5.6 Вычисляют ширину барража поверху (по ширине оврага).

$$b_1 = b + 2mh. \quad (21)$$

6 Гидравлические характеристики селя при уравнительном уклоне, не допускающем размыв и способствующем отложению наносов

При уравнительном уклоне i_y , не допускающем размыв и способствующем отложению наносов, определяют условия прохождения сели при подходе к барражу. Для этого задают первоначальную глубину селевого потока над барражем h_3 и производят расчеты по формулам, аналогичным выражениям (9) – (16).

$$\omega = b_1 \cdot h_3 + m \cdot h_3^2; \quad (22)$$

$$\chi = b_1 + 2h_3 \cdot \sqrt{1 + m^2}; \quad (23)$$

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (24)$$

$$C = \frac{1}{n} R^y; \quad (25)$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_y}; \quad (26)$$

$$Q = v \cdot \omega; \quad (27)$$

$$\varepsilon = \frac{Q - Q_c}{Q_c} \cdot 100. \quad (28)$$

Если погрешность больше 5 %, то увеличивают глубину h_3 и повторяют расчеты до тех пор, пока погрешность ε не станет меньше 5%.

7 Расчёт длины падения струи с барража

Определение длины падения селевого потока с барража производят по гидравлической схеме *водослива практического профиля* при достаточно широком гребне.

7.1 Вычисляют гидравлический параметр

$$\xi = m_1 \cdot \sqrt{2g}, \quad (29)$$

где коэффициент водослива $m_1=0,42$; $g=9,81$ м/с².

7.2 Ширина потока над барражем поверху

$$b_2 = b_1 + 2m \cdot h_3. \quad (30)$$

7.3 Напор на гребне барража

$$H_p = \sqrt[3]{\frac{Q_c^2}{\xi \cdot \epsilon_2^2}}. \quad (31)$$

7.4 Глубина потока на сливной грани барража

$$h_p = 1,5 \cdot m_1 \cdot H_0. \quad (32)$$

7.5 Площадь живого сечения

$$\omega_p = \epsilon_1 \cdot h_p + m \cdot h_p^2. \quad (33)$$

7.6 Скорость потока на сливной грани барража

$$v_p = \frac{Q_c}{\omega_p}, \quad (34)$$

7.7 Высота перепада

$$H_1 = h + 0,5 \cdot \epsilon_c \cdot i_1. \quad (35)$$

7.8 Длина падения потока

$$l_{\text{пад}} = 1,33 \sqrt{H_0 (H_1 + 0,3H_0)}. \quad (36)$$

Длина *рисбермы* (укрепления с низовой стороны барража) должна быть не менее 2 высот перепада

$$l_{\text{рисб}} = 2H_1. \quad (37)$$

и

$$l_{\text{пад}} \leq l_{\text{рисб}}. \quad (38)$$

8 Конструкция барража

Минимальная ширина барража – 1,0 м.

Глубина заложения фундамента должна быть не менее 2,0 м.

На высоте 0,1 м и 0,8 м от земли в стенке барража устраиваются сточные отверстия размером 0,3×0,3 м, расстояние между которыми назначается конструктивно от 1,0 до 5,0 м.

Перед барражем, на высоту 1,0 м от поверхности земли, отсыпается дренирующая призма из крупного камня, защищающая сточные отверстия от засорения. С низовой стороны барража устраивается рисберма из бетонных плит или отсыпки камня в плетневых клетках.

Источники информации

1. Технический железнодорожный словарь / Н. Н. Васильев, О. Н. Исаакян, Н. О. Рогинский, Я. Б. Смолянский, В. А. Сокович, Т. С. Хачатуров. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941.

2. Автомобильные дороги. Научно-технические достижения и передовой опыт в области автомобильных дорог. Защита автомобильных дорог от селевых потоков. Информационный сборник. Выпуск 3.
3. Жуков В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000. 95 с.
4. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Лекции / Проектирование малых искусственных сооружений / Определение максимальных расходов воды.
5. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Курсовой проект / Нагорная канава.
6. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.
7. Методические указания по гидравлическому расчету косогорных труб / ВНИИ транспортного строительства. – М., 1967 [Электронный ресурс].

Приложение А

Таблица – Коэффициент шероховатости русел

Наименование	Коэффициент шероховатости по акад. Павловскому, n
Одиночное мощение на щебне из булыжного камня размером 15-20 см	0,020
Одиночное мощение на щебне из рваного камня размером 15-25 см	0,025
Одиночное мощение на щебне с подборой лица и грубым приколом из камней размером 20-25 см	0,025
Двойное мощение из рваного камня на щебне, нижний слой из камней 15 см, верхний из камней 20 см	0,025
Облегченный бутовый лоток при $h = 85$ см с двухрядной укладкой камня на цементном растворе на щебеночной подготовке	0,025
Двойное мощение на щебне в плетнях, нижний слой из камней 15 см, верхний - из камней 20 см	0,032
Железобетонная труба без ступеней	0,015
Каменная труба из бутовой или бутобетонной кладки без ступеней	0,018
Лоток из сборных бетонных плит из бетона М-250, уложенных на щебеночной подготовке, толщиной 10 см	0,016
Лоток из бутовой кладки с грубой поверхностью с применением камня крепких пород (предел прочности не менее 300 кг/см ²)	0,020
Рисберма из камня размером 20-30 см	0,025
Лоток из бетона М-150 с грубой бетонировкой дна	0,016
Каналы, чисто высеченные в скале	0,020
Каналы без тщательной обработки поверхности, но с удалением резких выступов	0,025

Каналы, грубо высеченные в скале	0,040-0,045
Двойное мощение на цементном растворе	0,020
Мощение бетонными плитами	0,016
Реки и ручьи в благоприятных условиях (со свободным течением, без засорения и значительных водорослей)	0,025
Каналы и реки в сравнительно плохих условиях (например, местами с водорослями и булыжником или заметно заросшие травой с местными обвалами откосов)	0,030
То же, в весьма плохих условиях (с неправильным профилем, значительно засоренные камнями, водорослями и др.)	0,035
То же, в исключительно плохих условиях (обломки скалы и крупные камни по руслу, густые корни, значительные промоины и обвалы, заросли камыша)	0,040