

## **К РАСЧЕТУ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО СЕЛЕВОГО ПОТОКА НА ОГРАЖДАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ**

**А.А. Саруханян<sup>1</sup>, Г.И. Карапетян<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный университет архитектуры и строительства Армении*

<sup>2</sup>*Национальный политехнический университет Армении*

Произведен расчет ударного воздействия турбулентного селевого потока на ограждающие сооружения. Показано, что для выявления критерия оценки надежности и устойчивости селезащитных сооружений необходимо правильно рассчитать силы удара селевых потоков, что даст возможность определить степень надежности данного сооружения. В волновом потоке твердые частицы сосредотачиваются на вершине волны. Поэтому первоначальный удар селевого потока получается как удар двух твердых тел. Получена расчетная формула, на основе которой можно правильно рассчитать ударное давление потока о твердую поверхность сооружения в первые мгновения удара. Исходя из расчетного значения силы удара, можно вычислить степень надежности и устойчивости данного сооружения.

**Ключевые слова:** селевой поток, сила воздействия, стабильность, селевая конструкция, надежность.

**Введение.** Для оценки надежности и устойчивости селеограждающих сооружений необходимо прежде всего правильно рассчитать нагрузки, действующие на сооружение, в том числе от импульсного или ударного воздействия селевого потока в виде волны. Указанной проблеме посвящено много исследований.

**Постановка задачи и обоснование методики.** В работе [1] рассмотрены вопросы ударного воздействия селевого потока на сквозные селеоградительные сооружения. Очевидно, что волновое воздействие селевого потока на сквозные сооружения будет отличаться от сил, действующих на глухие ограждающие сооружения. Разница между силами воздействия при одинаковых скоростях селевого потока, площади ударного фронта, плотности и др. будет тем больше, чем больше размеры ячеек сквозного сооружения. В результате обработки экспериментальных данных получена графическая зависимость по определению доли силы удара в процентах, принятая сквозным сооружением по сравнению с

эквивалентным глухим сооружением. На рис. 1 показана кривая зависимости  $F$  от отношения наименьшего размера ячейки  $\Delta$  к глубине потока  $h$ .

**Результаты исследования.** По результатам экспериментальных исследований [2] определены силы ударного воздействия селевого потока на глухие сооружения:

$$P = 4,5\rho Av^2. \quad (1)$$

Исследовано ударное воздействие структурного (связного) селевого потока на сквозные сооружения. В результате обработки опытных данных построен график зависимости соотношения силы удара на сквозное и глухое сооружения от отношения максимальных каменных включений к минимальному размеру отверстий при разных скоростях селевого потока.

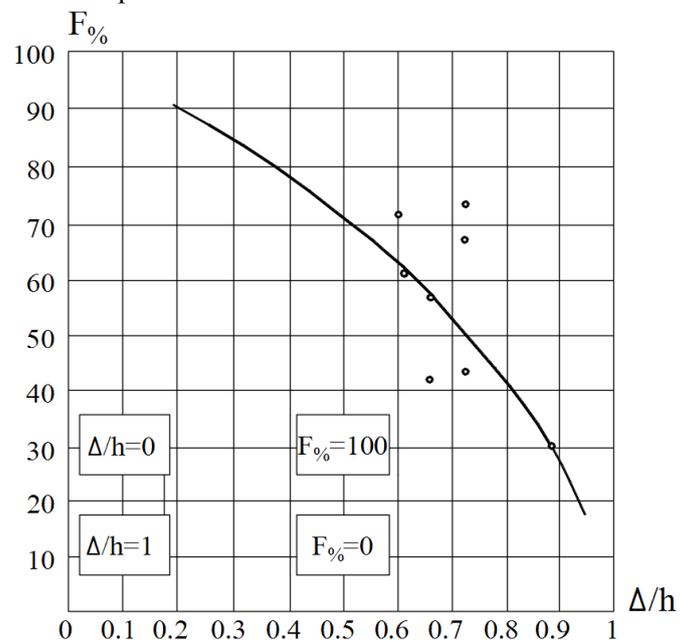


Рис. 1. Кривая зависимости  $F\%$  от  $\Delta/h$

Результаты экспериментальных исследований подтвердили, что при определенных размерах отверстий решетки и соответствующих размерах максимальных каменных включений, а также определенных скоростях и плотности селевой поток почти всю свою энергию передает на отдельные элементы поперечного щита решетки.

Сила ударного воздействия селевого потока на единицу площади решетки определяется по формуле

$$P_{ck} = k\rho_c v_c^2, \quad (2)$$

где  $\rho_c$  и  $v_c$ , - соответственно плотность и средняя скорость селевого потока;

$k$  - коэффициент пропорциональности, принимаемый равным  $k = 9$ .

Однако очевидно, что существующие формулы по определению ударного воздействия селевого потока на селезащитные поперечные сооружения не отражают явления удара, имеющего место в действительности.

Первым из главных факторов, не учтенных в существующих расчетных формулах, является то, что твердые частицы как по крупности, так и по концентрации сосредотачиваются на фронте волны. Это приводит к тому, что при ударном взаимодействии волнового потока и сооружения отдельный вес потока практически должен быть взят равным удельному весу твердого вещества, а не среднему удельному весу всего потока, как это ошибочно делается в существующих формулах. Физически это означает, что в действительности имеет место удар не жидкого потока о твердую поверхность сооружения, а двух твердых тел.

Второй фактор - это неучет скорости распространения упругих волн в селевой массе при ударе. И наконец, третий фактор - это то обстоятельство, что после удара скорость потока может стать не нулевой, а некоторой конечной величиной, но меньшей, чем скорость поступающего потока.

Переходя к выводу формулы для определения ударной силы на преграду, будем пользоваться известным в гидродинамике эйлеровским представлением конвективной производной от интеграла некоторой физической величины. В данном случае в качестве такой физической величины будем рассматривать массу и количество движения, отнесенные к единице объема жидкости. Доказано [3], что конвективная производная по времени от интеграла некоторой величины, взятого по движущемуся объему, равна переносу той же величины сквозь контрольную поверхность, ограничивающую этот объем в данный момент времени. Однако это доказательство имеет место при стационарном движении, но селевой поток в виде единичной волны является нестационарным. Действительно, если обозначить параметры селевого потока до удара через  $\rho_1, U, A_1$  (рис. 2), то после удара они претерпевают конечный скачок и принимают значения  $\rho_2, V, A_2$ . Во многих важных случаях (особенно для глухих плотин) практически принимается,  $V = 0$ , т.е. поток после удара неподвижен. Характеристики потока после удара будут перемещаться со скоростью распространения упругих возмущений в селевой массе. Обозначим эту скорость через  $c$ .

Из описания следует, что даже при постоянных значениях  $\rho, V, A, c$  до и после удара движение в данном случае является нестационарным, т.к. в различных створах и в различное время эти характеристики из их

первоначальных значений приобретают новые значения, обусловленные явлением удара.

Для превращения данного нестационарного движения в стационарное воспользуемся оригинальным методом, используемым в аэродинамике при расчетах прямых скачков уплотнения на крыльях и фюзеляже самолета при их обтекании сжимаемым газом.

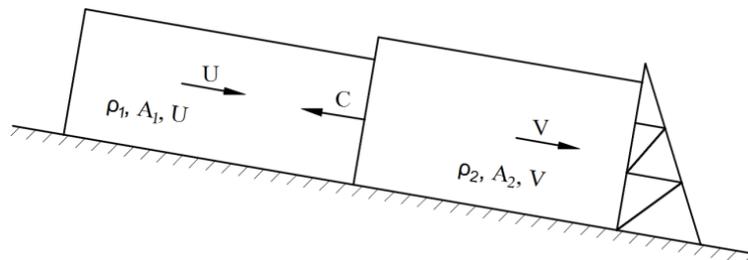


Рис. 2. Параметры потока при ударе о преграду

Обратим движение, сообщив мысленно всему потоку вместе с руслом равномерное поступательное движение вправо со скоростью  $c$ . Это равносильно тому, что происходящее в русле явление будем рассматривать с точки зрения галилеевой системы координат, движущейся поступательно вдоль русла с ударной волной. Тогда ударная волна окажется как бы остановленной, а движение потока – стационарным.

В левой и правой частях неподвижной ударной волны, плоскость которой перпендикулярна направлению потока скорости, плотность и живое сечение потока претерпевают конечный скачок. Первоначальный невозмущенный поток в новом рассмотрении подходит к скачку уплотнения слева направо (рис. 3) со скоростью  $V_1 = U + c$ , а за скачком движется со скоростью  $V_2 = v + c$ , при этом очевидно, что  $V_1 > V_2$ , а давление и плотность в этой галилеевой системе сохраняют свои прежние значения.

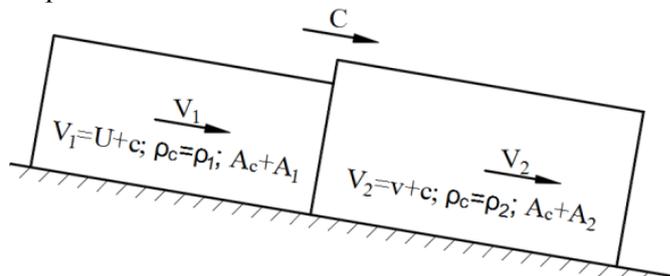


Рис. 3. Параметры потока после сообщения ему постоянной скорости  $c$

Обозначим индексом 1 величины перед скачком, индексом 2 – после скачка.

Чтобы найти связь между  $V_1, P_1, \rho_1$  и  $V_2, P_2, \rho_2$ , воспользуемся стационарностью потока и применим к ней теоремы сохранения массы и количества движения.

Выберем за контрольную поверхность совокупность боковой поверхности русла и двух живых сечений перед и за скачком. Тогда закон сохранения массы будет иметь вид

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2. \quad (3)$$

Теорема изменения количества движения выражается равенством

$$\rho_1 V_1^2 A_1 + \rho_2 V_2^2 A_2 = P_2 A_2 - P_1 A_1. \quad (4)$$

Согласно (3) и (4), имеем

$$\rho_1 V_1 A_1 (V_1 - V_2) = P_2 A_2 - P_1 A_1. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что

$$V_1 = U + c, \quad V_2 = v + c, \quad P_2 = P_{\text{уд}} \text{ (ударное давление)},$$

имеем

$$P_{\text{уд}} A_2 = P_1 A_1 + \rho(U + c)(U - v) A_1.$$

Следовательно,

$$P_{\text{уд}} = \frac{A_1}{A_2} P_1 + \rho_1 (U + c)(U - v) \frac{A_1}{A_2}. \quad (6)$$

Выразим  $U + c$  через  $v + c$ . Из уравнения неразрывности (3) имеем

$$\rho_1 (U + c) A_1 = \rho_2 (v + c) A_2,$$

следовательно,

$$\begin{aligned} U + c &= (v + c) \frac{\rho_2 A_2}{\rho_1 A_1} = (v + c) \frac{\rho_1 A_1 + \Delta(\rho_1 A_1)}{\rho_1 A_1} = \\ &= (v + c) \left( 1 + \frac{\Delta(\rho_1 A_1)}{\rho_1 A_1} \right) = (v + c) \left( 1 + \frac{\rho_1 \Delta A_1 + A_1 \Delta \rho_1}{\rho_1 A_1} \right) = \\ &= (v + c) \left( 1 + \frac{\Delta A_1}{A_1} + \frac{\Delta \rho_1}{\rho_1} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Кроме того, согласно тому же уравнению, имеем

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\rho_2 (v + c)}{\rho_1 (U + c)}.$$

Так как  $\rho_2 > \rho_1$ ,  $v < U$  и принимая во внимание, что  $\rho_2$  и  $\rho_1$  соответствуют величинам, близким к плотности твердого материала, следовательно, их изменения при ударе небольшие, можно в первом приближении принять  $A_1 = A_2$ . С учетом этого, подставляя в (6) значение  $U + c$  из (7), получим

$$\Delta P = P_{уд} P_1 = \rho_1 (U - v). \quad (8)$$

Это и есть расчетное уравнение для определения ударного давления на преграду.

Выражение (8) можно написать в несколько иной форме:

$$\Delta P = \rho_1 U c \left(1 + \frac{v}{c}\right) \left(1 - \frac{v}{U}\right). \quad (9)$$

В случае, когда  $v = 0$ , т.е. в случае глухой плотины, когда после удара поток останавливается, согласно (9) имеем

$$\Delta P_{гл} = \rho_1 U c, \quad (10)$$

т.е. получаем выражение, совпадающее с формулой для расчета величины повышения давления при гидравлическом ударе, лишь с той разницей, что плотность жидкости заменена плотностью твердого вещества.

Если же  $v \neq 0$  (в случае сквозного сооружения), в силу того, что значение  $v$  очень мало, из уравнения (9) с учетом (10) получим

$$\Delta P = \rho_1 U c \left(1 - \frac{v}{U}\right) = \Delta P_{гл} \left(1 - \frac{v}{U}\right). \quad (11)$$

Отсюда видно, что в случае сквозного сооружения ударное давление будет ниже, чем при глухой плотине.

**Заключение.** Полученная расчетная формула дает значение действительного ударного давления потока о твердую поверхность сооружения в первые мгновения удара, а не после того, когда явление удара закончилось и начинается обтекание сооружения потоком. В предлагаемой формуле впервые учтены такие характеристики при ударе, как скорость распространения малых возмущений, модуль упругости, плотность и гранулометрический состав твердого вещества селевой массы.

#### Литература

1. Гагошидзе М.Е., Натиашвили О.Г., Макарашвили М.А. О некоторых специфических особенностях расчета сквозных селезаградительных сооружений // Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. – М., 1974. - Вып.3. - С. 51-56.

2. **Иорданишвили З.С., Сохадзе Л.Д.** К вопросу об ударном воздействии структурного (связного) селевого потока на сквозные сооружения // Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. – М., 1974. – Вып.3.– С. 35-42.
3. **Лойцянский Л.Г.** Механика жидкости и газа. - М.: Энергия, 1973. - 847 с.

*Поступила в редакцию 10.03.2016.  
Принята к опубликованию 05.12.2016.*

## **ԱՐԳԵԼԱՊԱՏԵՐԻ ՎՐԱ ՏՈՒՐՐՈՒԼԵՆՏ ՍԵԼԱՎԱՅԻՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ՀԱՐՎԱԾԻ ԱՁԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԱՍԻՆ**

**Ա.Ա. Սարուխանյան, Հ.Ի. Կարապետյան**

Արտածվել է սելավային հոսանքի առաջին հարվածի ժամանակ արգելապատնեշի վրա առաջացող առավելագույն ճնշման հաշվարկային բանաձև: Ցույց է տրվել, որ սելավապահ կառուցվածքների կայունության և հուսալիության գնահատման չափանիշների բացահայտման համար կարևոր է սելավային հոսքերի հարվածի ուժի ստույգ հաշվարկը, որը հնարավորություն կտա ճիշտ գնահատել կառուցվածքի հուսալիության աստիճանը: Ալիքային հոսքերում կոշտ մասնիկները կենտրոնանում են ալիքի ճակատում: Այդ պատճառով արգելապատնեշին սելավային հոսքերի առաջին հարվածը ստացվում է որպես երկու պինդ մարմինների հարված: Հաշվարկը հնարավորություն է տալիս գնահատել կառուցվածքի կայունության և հուսալիության աստիճանը:

**Առանցքային բառեր.** սելավային հոսք, կայունություն, հուսալիություն, սելավապահ կառուցվածք, ազդեցության ուժ:

## **CALCULATING THE TURBULENT MUDFLOW IMPACT ON THE PROTECTING STRUCTURES**

**A.A. Sarukhanyan, H.I. Karapetyan**

The calculation of the impact action of turbulent mudflow on the protective structure is carried out. To reveal the assessment criteria of reliability and stability of mud structures, it is necessary to accurately calculate the mudflow impact forces which enables to determine the degree of reliability of the structure under study. Hard particles in the wave flow are concentrated on the wave crest. Hence, the first impact of the mudslide occurs as that of two rigid bodies. A design formula has been derived, enabling to correctly calculate the impact pressure of the mudflow on the hard surface of the structure at the first instant. Having the design value of the impact force, the degree of reliability and stability of the given structure can be calculated.

**Keywords:** mudflow, impact force, stability, reliability, mud structure.