

Труды Международной конференции

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г.



Ответственный редактор
С.С. Черноморец

Институт «Севкавгипроводхоз»
Пятигорск 2008

Proceedings of the International Conference

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008



Edited by
S.S. Chernomorets

Sevkavgirovodkhoz Institute
Pyatigorsk 2008

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции. Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец. – Пятигорск: Институт «Севкавгипроводхоз», 2008, 396 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the International Conference. Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008. – Ed. by S.S. Chernomorets. – Pyatigorsk: Sevkavgirovodkhoz Institute, 2008, 396 p.

Ответственный редактор: С.С. Черноморец
Edited by S.S. Chernomorets

Редакция английских аннотаций: К. Маттар и О. Тутубалина
English versions of abstracts edited by K. Mattar and O. Tutubalina

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).
Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-5-91266-010-8

© Селевая ассоциация
© Институт «Севкавгипроводхоз»

© Debris Flow Association
© Sevkavgirovodkhoz Institute



Учет напорного, безнапорного и волнового режимов движения при воздействии селевого потока на селепропускные сооружения

О.Г. Натишвили, В.И. Тевзадзе

Институт водного хозяйства, Тбилиси, Грузия

Calculation of pressure, non-pressure and wave motions caused by the influence of debris flow on debris escapes

O.G. Natishvili, V.I. Tevzadze

Institute of Water Management, Tbilisi, Georgia

При воздействии селевых потоков на селепропускные сооружения движение может иметь напорный или безнапорный характер, не исключается также, при внезапной закупорки селепропускного тракта, волновое движение в виде обратной волны. Все эти виды явлений требуют разработки специальных методов расчета с учетом аномальных свойств селевого потока. Пользуясь упрощенным видом уравнений Навье-Стокса определяется расход и средняя скорость потока при напорном и безнапорном режимах движения. В случае воздействия селевого потока на подмостовое пространство и закупорки последнего возникший фронт обратной волны будет перемещаться вверх по течению. Используя при этом закон сохранения массы и, допуская, распределения движения по глубине подчиняется гидростатическому закону, вычисляется глубина обратной волны и скорость перемещения ее фронта.

The influence of a debris flow on debris escapes can be characterised as pressure or non-pressure as well as wave motions in the form of backward waves in the case of a sudden clogging in the debris escape. All these forms need development of special analysis techniques adjusted for anomalous properties of a debris flow. Using simplified equations of Navie-Stokes we determine the discharge and average flow velocity for pressure and non-pressure motions. The wave front of a backward-going wave will be moving upstream in the case of influence of debris flow on an under-bridge area and its clogging. Using the mass conservation law, on the condition that the distribution of motion in depth complies with the hydrostatic law we define the depth of backward wave and motion velocity of its front.

Практика противоселевого строительства насчитывает множество видов сооружений, предназначенных для безвредного пропуска селевых потоков и, следовательно, обеспечивающих защиту объектов, расположенных в зоне их непосредственного действия. Среди этих сооружений особое место отводится селепропускным сооружениям располагаемых над и под различными видами коммуникационных трактов (Виноградов, 1980, Гагошидзе, 1970, Натишвили и Тевзадзе, 2007, Флейшман, 1978).

При воздействии селевых потоков на эти виды сооружений движение может иметь напорный или безнапорный характер; не исключается также возможность внезапной закупорки селепропускного тракта и возникновение обратной волны. Все эти виды явлений требуют разработки специальных методов расчета для оценки, геометрических и гидравлических параметров сооружений с учетом аномальных свойств селевого потока, а также таких основных характеристик потока каковыми являются частота их появления, длительность прохождения, интервал появления и величины катастрофических расходов изложенных в (Мирцхулава, 1998).

Селевой поток в данном случае рассматривается как грязекаменная смесь с высокой концентрацией твердой составляющей при плотности $1,80 - 2,3 \text{ т/м}^3$.

Рассмотрим напорное движение селя в галерее с прямоугольным поперечным сечением.

В случае воздействия селевого потока на селепропускное сооружение – галерея, подмостовое пространство с прямоугольными поперечным сечениям высотой $2H$ (где H половина высоты селепропускного тракта) и шириной B система уравнений Новье Стока с учетом того, что движущая среда характеризуется градиентным слоем у контактной поверхности потока с руслом и ядром течения принимает вид (Натишвили и Тевзадзе, 2007):

$$\frac{d^2V}{dy^2} = \frac{V\Delta P}{\mu L} \quad (1)$$

где $V = V_x$ – местная скорость потока в области градиентного слоя; y – текущая ордината; ΔP – постоянное вдоль галерей перепад давления; μ – динамический коэффициент вязкости селя; L – длина галерей. Интегрируя (1) с учетом граничных условий $V = 0$, при $y = \pm H = \pm(h_0 + h)$ дает:

$$V = \frac{\Delta P H^2}{2\mu L} \left[1 - \left(\frac{h_0 + h_1}{H} \right)^2 \right] \quad (2)$$

где h_0 – половина высоты ядра потока (показатель неньютоновского поведения среды), h_1 – толщина градиентного слоя в верхней (потолочной) и нижней (придонной) части селепропускного тракта. Определив $V_{\text{макс}}$, т.е. скорость ядра, можно оценить расходы ядра и градиентного слоя, что дает возможность установить полный расход селевого потока при напорном его движении в виде (Натишвили и Тевзадзе, 2007):

$$Q = \frac{2}{3} \frac{\Delta P H^3 B}{\mu L} f(\beta) \quad (3)$$

где $f(\beta) = 1 - \beta^3$ и $\beta = h_0 / H$.

Средняя же скорость селевого потока в данном пространстве будет:

$$V_{cp} = \frac{Q}{2HB} = \frac{\Delta P H^2}{3\mu L} f(\beta) \quad (4)$$

С учетом неньютоновского поведения среды (Виноградов, 1980, Гагошидзе, 1970, Натишвили и Тевзадзе, 2007), число Рейнольдса для оценки режима ее движения будет иметь вид:

$$Re = \frac{V_{cp}(H^3 - h_0^3)}{H(H - h_0)\nu} \quad (5)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости.

При безнапорном движении вязкого селя зависимость (1) принимает вид:

$$\frac{d^2V}{dy^2} = -\frac{\rho g i}{\mu}, \quad (6)$$

здесь i – уклон дна галерей;

Интегрирование (6) с учетом граничных условий при $y = H - h_0$, $dV/dy = 0$ получаем закон распределения скорости в градиентном слое потока в виде:

$$V_x = \frac{i\rho g y}{2\mu} [(2H - h_0) - y] \quad (7)$$

где H – полная глубина потока.

После определения удельных расходов в ядре и градиентном слое нетрудно установить общий расход потока:

$$Q = \frac{i\rho g B H^3}{2\mu} f_1(\beta) \quad (8)$$

$$\text{где } f_1(\beta) = \frac{2}{3} - \frac{\beta}{2} - \frac{\beta^3}{6}$$

Средняя же скорость при безнапорном движении будет иметь вид:

$$V_{cp} = \frac{i\rho g H^2}{2\mu} f_1(\beta) \quad (9)$$

Из (8) следует, что безнапорное движение селевого потока в селепропускном сооружении обеспечивается, при соблюдении следующего критериального условия:

$$\frac{h_0}{2H} + \frac{1}{6} \left(\frac{h_0}{H} \right)^3 < \frac{2}{3} \quad (10)$$

$$\text{где } h_0 = \tau_0 / \rho g i; \quad H = \tau / \rho g i;$$

τ - касательное напряжение.

Полученные данные позволяют рассчитать параметры селепропускного сооружения, обеспечивающее безвредный пропуск потока.

Однако, возможны случаи, когда селепропускное сооружение (подмостовое пространство) в результате возможной сработки одного или нескольких эрозионных врезов в верховьях селевого водотока (Виноградов, 1980; Гагошидзе, 1970; Черноморец, 2005) на сооружение обрушивается селевой поток в виде волны с расходом, значительно превышающим его пропускную способность, в результате чего в верхнем бьефе образуется обратная волна повышения. Для оценки подобной ситуации важно определить высоту Z этой волны и скорость ее перемещения C вверх по течению.

Фронт обратной волны, возникшей в момент t_1 при воздействии потока на входную часть подмостового пространства будет перемещаться вверх по течению со средней скоростью C и в момент t_2 окажется на расстоянии $(t_2 - t_1) C = \Delta t C$ от створа входного сечения. При этом масса, с плотностью ρ поступающая сверху водотока в тот же промежуток времени в пределах обратной волны со скоростью V_0 и глубиной h_0 будет

$$m_1 = \rho h_0 V_0 \Delta t, \quad (11)$$

а масса обратной волны повышения высотой Z , перемещающаяся, вверх по течению со скоростью C будет

$$m_2 = \rho Z C \Delta t \quad (12)$$

Масса же селевой смеси втекающая в подмостовом пространстве будет равна

$$m_3 = \rho h_1 V_1 \Delta t \quad (13)$$

Здесь h_1 - высота подмостового пространство и V_1 - средняя скорость потока в подмостовом пространстве. Тогда вся масса селевой смеси за время Δt в указанном объеме будет

$$m = m_1 + m_2 - m_3 = \rho \Delta t (V_0 h_0 + CZ - V_1 h_1) \quad (14)$$

Допуская, что в створе входной плоскости подмостового пространство и в теле обратной волны давление по глубине подчиняется гидростатическому закону (Натишвили и Тевзадзе, 2007), тогда импульс силы F будет

$$F \Delta t = -\gamma \Delta t (h_0 Z + Z^2 / 2) \quad (15)$$

Для упомянутых выше отсеков, применяя закон количества движения, учитывая значения удельных расходов потока в русле и в подмостовом пространстве, можно определить величину расхода обратной волны на единицу ширины в виде

$$CZ = V_0 h_0 - V_1 h_1 \quad (16)$$

Путем совместных решений полученных зависимостей определяется глубина обратной волны

$$Z = -\frac{gh_0 \pm \sqrt{g^2 h_0^2 - 2Kg}}{g}, \quad (17)$$

$$\text{где } K = 4(V_1^2 h_1 - V_0 V_1 h_0) \quad (18)$$

и скорость относительного перемещения фронта обратной волны повышения

$$C = \frac{V_0 h_0 - V_1 h_1}{Z}. \quad (19)$$

Полученные зависимости дают возможность установить оптимальные геометрические и гидравлические параметры сооружения.

Список литературы

- Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980, 144 с.
 Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970, 384 с.
 Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Основы динамики селей. Тбилиси, 2007, 214 с.
 Флейшман С.М. Сели. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978, 312 с.
 Мирцхулава Ц.Е. Оценка появления селей катастрофического характера. – Гидротехническое строительство, 1998, с. 19-26.
 Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005, 182 с.