К определению скорости физического фронта двухмерной медленно изменяющейся волны попуска

Коваленко Э.П.,
(ЦНИИКИВР)

При проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений часто необходимо решать задачи, связанные с определением скорости распространения волн попуска.

При неустановившемся движении жидкости, когда силами сопротивления можно пренебречь, скорость фронта волны равна /1-5/

$$\upsilon = u_0 \pm \sqrt{gH_0}, \qquad (1)$$

где

u_0 – средняя скорость при установившемся режиме, g – ускорение силы тяжести, H_0 – глубин при установившемся режиме.

Знак $\pm$ относится к прямым и обратным волнам соответственно.

В естественных руслах скорости физического фронта волны, т.е. скорости распространения геометрического места точек, где начинает наблюдаться физически регистрируемое нарушение установившегося режима, значительно меньше скорости, определяемой по зависимости (1).

Обычно скорость физического фронта волны находят по формуле /2/

$$\upsilon_ф = u_0 \pm \mu\sqrt{gH_0}, \qquad (2)$$

где μ – эмпирический коэффициент, характеризующий степень влияния сил трения и изменяющийся в пределах $0 < \mu < 1$.

Коэффициент μ определяется по данным натурных исследований, причем зависит от изменения коэффициента шероховатости «n» по сезонам года в естественных руслах /2/. В результате появляется необходимость определения значения скорости физического фронта волны при отсутствии эмпирических коэффициентов μ для рассматриваемого русла.

Для двухмерного неустановившегося движения уравнение неразрывности имеет вид

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0, \qquad (3)$$

где Q – расход, l – расстояние по каналу от створа попуска, H –

глубина, t — время.

Первый член уравнения (3) в момент времени $t_1 = t_0 + \Delta t$ при размещении створов, как показано на рис. «а», в конечно разностном виде можно записать как

$$\frac{\partial Q}{\partial l} \sim \frac{Q_2 - Q_1}{l_2 - l_1}, \tag{4}$$

где

индексы 2 и 1 означают, что параметр относится соответственно к створу 2-2 и 1-1.

Если профиль медленно изменяющейся волны у ее физического фронта за промежуток времени $\Delta t = t_2 - (t_0 + \frac{\Delta t}{2})$ практически не изменился, а в момент времени $t_0 + \frac{\Delta t}{2}$ фронт волны находился на расстоянии $l_1 + \frac{\Delta l}{2}$, то в этом случае в момент времени t_1 имеем

$$\frac{\partial H}{\partial t} \sim \frac{H_{t_1 l_1} - H_0}{t_1 - t_0}, \tag{5}$$

где

индекс t_1 означает, что параметр относится к моменту времени t_1.

Подставив значения $\frac{\partial Q}{\partial l}$ и $\frac{\partial H}{\partial t}$ соответственно из зависимостей (4) и (5) в уравнение (3) и зная, что $Q_2 = Q_0$ и $H_2 = H_0$ в момент времени t_1, получим

$$\frac{Q_0 - Q_1}{l_2 - l_1} + \frac{H_{t_1, l_1} - H_0}{t_1 - t_0} = 0 \tag{6}$$

Но при том же условии в уравнении (6) $H_{t_1, l_1} = H_1$,
Тогда

$$\frac{Q_1 - Q_0}{H_1 - H_0} = \frac{l_2 - l_1}{t_1 - t_0}. \tag{7}$$

В зависимости (7) правый член при достаточно малом значении $t_1 - t_0$ представляет скорость физического фронта медленно изменяющейся волны попуска, т.е.

$$\upsilon_ф \sim \frac{l_2 - l_1}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta l}{\Delta t}. \qquad (8)$$

Отсюда из уравнения (7) находим

$$\upsilon_ф = \frac{Q_1 - Q_0}{H_1 - H_0}. \qquad (9)$$

Зависимость (9) может быть получена на основании другого подхода /1/.

Как следует из соотношения (9), скорость физического фронта волны зависит не только от параметров установившегося потока (u_0, H_0), по которому распространяется волна, как это определяется формулой (1), но и интенсивности изменения расхода Q_1 и глубины H_1. Следовательно, коэффициент μ в формуле (2) зависит также от Q_1 и H_1, а не только от коэффициента шероховатости, что подтверждается экспериментально /1, 2/.

Для того, чтобы определить значение $\upsilon_ф$ по соотношению (9), необходимо знать величины Q_1 и H_1 помимо Q_0 и H_0. Одну из них можно найти из динамического уравнения двухмерного медленно изменяющегося неустановившегося движения, которое имеет вид

$$\frac{\partial H}{\partial l} + \frac{\alpha u}{g}\frac{\partial u}{\partial l} + \frac{\alpha u}{\partial t} = i_0 - \frac{u^2}{C^2 H}, \qquad (10)$$

где υ — средняя скорость, C — скоростной коэффициент, i_0 — уклон, H — глубина, α — коэффициент количества движения потока.

В момент времени t_1 в пределах Δl

$$\frac{\partial H}{\partial l} \sim \frac{H_0 - H_1}{\Delta l} \quad и \quad \frac{\partial u}{\partial l} \sim \frac{u_0 - u_1}{\Delta l}, \qquad (11)$$

а при том же условии, как принято при выводе зависимости (5),

$$\frac{\partial u}{\partial t} \sim \frac{u_1 - u_0}{\Delta t}. \qquad (12)$$

В пределах Δl в момент времени t_1 расчетные значения можно представить в виде:

средней скорости

$$u = \kappa_1(u_0 + u_1), \qquad (13)$$

глубины

$$H = к_2(H_0 + H_l),$$

где $к_l$ и $к_2$ — коэффициенты приведения соответственно к расчетной средней скорости и расчетной глубине.

В этом случае

$$C^2 = \frac{k_2^{2y}}{n^2}\left(H_0 + H_l\right)^{2y}, \tag{14}$$

где у — показатель степени в формуле для определения скоростного коэффициента.

Подставив значения $\frac{\partial H}{\partial l}, \frac{\partial u}{\partial l}, \frac{\partial u}{\partial t}, u, H$ и C соответственно из зависимостей (11) ... (14) в (10), имеем

$$\frac{H_0 - H_l}{\Delta l} + \frac{\alpha k_l}{g} \cdot \frac{u_0^2 - u_l^2}{\Delta l} + \frac{\alpha_0}{g}\frac{u_l - u_0}{\Delta t} = \\ = i_0 - \frac{k_l^2(u_l + u_0)^2 n^2}{k_2^{1+2y}(H_0 + H_l)^{1+2y}}, \tag{15}$$

В уравнении (15) $u_l = \frac{Q_l}{H_l}$.

Зная это и обозначив

$$a = \frac{k_l^2 n^2}{k_2^{1+2y}(H_0 + H_l)^{1+2y}} - \frac{\alpha k_l}{g\Delta l}, \quad b = \frac{\alpha_0 H_l}{g\Delta t} + \frac{2k_l^2 u_0 n^2 H_l}{k_2^{1+2y}(H_0 + H_l)^{1+2y}},$$

$$d = \left(\frac{H_0 - H_l}{\Delta l} + \frac{\alpha k_l u_0^2}{g\Delta l} - \frac{\alpha_0 u_0}{g\Delta t} - i_0 + \frac{k_l^2 u_0^2 n^2}{k_2^{1+2y}(H_0 + H_l)^{1+2y}}\right) H_l^2,$$

из уравнения (15) находим

$$aQ_l^2 + bQ_l + d = 0. \tag{16}$$

В случае, когда изменение Q_l и H_l в пределах Δl близко к линейному

$$k_1 = k_2 = \frac{1}{2}.$$

Тогда при заданном значении H_1 из уравнения (16) находим соответствующее значение Q_1, а из формулы (9) – скорость физического фронта волны.

При заданном значении Q_1 аналогично можно найти соответствующее ему значение H_1, а, следовательно, и значение $\upsilon_ф$.

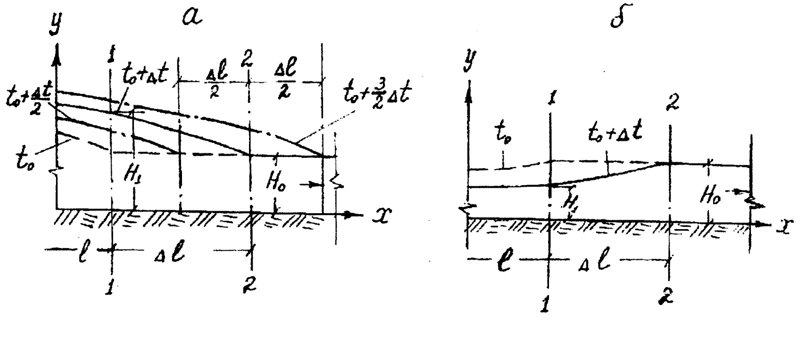
Формулу (9) можно записать как

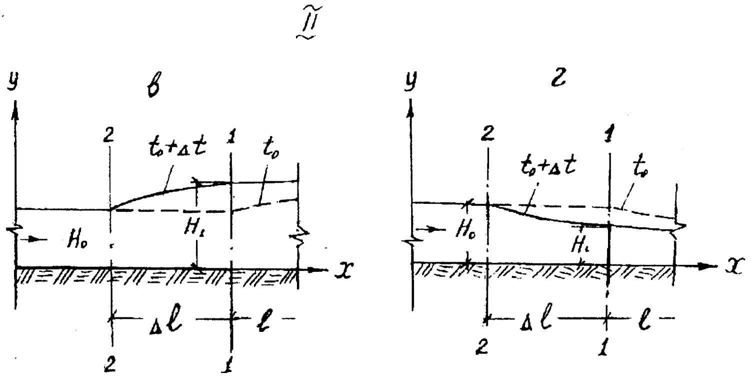
$$H_1 = \frac{Q_Г - Q_0 + \upsilon_ф H_0}{\upsilon_ф}. \qquad (17)$$

При заданном значении υ соотношение (17) определяет взаимосвязь Q_1 и H_1, при которой обеспечивается заданное значение $\upsilon_ф$.

Подставив значение H_1 из (17) в коэффициенты a, b и d и их значения в уравнение (16), получим уравнение, содержащее одно неизвестное Q_1, решив которое, например, подбором, находим в створе 1-1 в момент времени t_1 значение расхода Q_1, которое обеспечивает заданную скорость волны $\upsilon_ф$, а из соотношения (17), зная Q_1, получим H_1. Это позволяет построить график попусков $Q_1 = f(t)$, имеющих заданную скорость движения волны попуска.

I





Расчетная схема движения волн попуска.
а – прямая положительная волна
б – прямая отрицательная волна
в – обратная положительная волна
г – обратная отрицательная волна

Прогнозирование сдвиговой прочности связных грунтов

Турчек П.
(СТУ)

1. Введение

Воздействие воды на природную грунтовую среду способствует изменению ее механических свойств. При решении задач устойчивости изменения ее механических свойств. При решении задач устойчивости на передний план выступает вопрос достоверного определения сдвиговой прочности. Воздействие обволакивающей зерна грунта воды, как и находящейся в его порах, изменяется в зависимости от крупности частиц. Тонкодисперсные грунты в определенном диапазоне заимствуют свойство пластичности. Их изучение, продолжающееся несколько десятилетий, до сих пор не завершено успокоительно. Главной причиной такого состояния является многообразие химических реакций, протекающих непрерывно в процессе выветривания земной коры, к которым присовокупляется антропогенный фактор в виде механических влияний.