

Действительный член АН Арм.ССР И. В. ЕГИАЗАРОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Всякое моделирование должно быть основано на применении теории подобия и теории размерностей, так как для моделирования нужно уметь определять критерии подобия, отвечающие изучаемому явлению. Критерии подобия легко определяются, если составлены дифференциальные уравнения и условия однозначности. Но движение наносов и, следовательно, русловые процессы до сих пор еще дифференциальными уравнениями не описаны. Поэтому для моделирования обычно пользуются эмпирически полученными связями и зависимостями.

В 1949 г. автору удалось, основываясь на теории размерностей и теории подобия, получить критериальное уравнение для влекомого потоком наносов при квадратичном обтекании зерен (1).

Это критериальное уравнение

$$\varphi\left(\frac{p''}{i^{1/2}}, \frac{S - S_0}{S_0}\right) = 0 \quad (1)$$

приводит к двум критериям подобия:

$$\frac{p''}{i^{1/2}} = \frac{g''}{\gamma q' i^{1/2}} = \text{idem} - E g'' - \text{критерий расхода наносов}; \quad (2)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{\gamma}{\gamma_H - \gamma} \frac{i R}{f d} \text{idem} - E s - \text{критерий влечения}, \quad (3)$$

и, следовательно, к следующим безразмерным масштабным комплексам

$$\frac{\alpha_{g''}}{\alpha_\gamma \alpha_{q'} \alpha_i^{1/2}} = 1, \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_\gamma \alpha_i \alpha_R}{\alpha_{\gamma_H - \gamma} \alpha_f \alpha_d}, \quad (5)$$

где g'' — расход наносов по весу в воде на единицу ширины потока; q' — расход воды на единицу ширины потока; S — сила влечения; f — коэффициент трения; d — крупность наносов.

При неискажении уклона $\alpha_i = 1$ и, так как для обычного моделирования $\alpha_\gamma = 1$, то, если на модели применяются наносы того же удельного веса, что и в природе, $\alpha_{\gamma_H - \gamma} = 1$.

Если число Рейнольдса, отнесенное к зерну на модели, достаточно велико (для случаев, когда число Рейнольдса на модели лежит в других пределах, см. (2, 3)), то и $\alpha_f = 1$.

Таким образом, получаются следующие простые масштабные соотношения:

$$\frac{\alpha_{g''}}{\alpha_q} = 1, \quad \frac{\alpha_R}{\alpha_d} = 1. \quad (6)$$

При геометрически неискаженной модели $\alpha_R = \alpha_x$ и, следовательно,

$$\alpha_d = \alpha_x, \quad (7)$$

т. е. наносы должны при принятых условиях обтекания моделироваться в геометрическом масштабе (что было получено автором и раньше в 1948 г. (4)), а расход наносов должен определяться по масштабу расхода воды.

Эти же критерии подобия (4) и (5) позволяют определить соотношение масштабов и в других случаях. Например, моделирование при искажении уклона требует, исходя из (4) и (5), следующего соотношения масштабов:

$$\frac{\alpha_{g^*}}{\alpha_q \alpha_i^{1/2}} = 1, \quad (8)$$

$$\frac{\alpha_i \alpha_x}{\alpha_d} = 1. \quad (9)$$

Моделирование при измененном удельном весе наносов, но при $\alpha_f = 1$:

$$\frac{\alpha_{g^*}}{\alpha_q} = 1; \quad (10)$$

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_{\gamma_H - \gamma} \alpha_d} = 1. \quad (11)$$

Моделирование при изменении формы зерен наносов:

$$\frac{\alpha_{g^*}}{\alpha_q} = 1, \quad (12)$$

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_f \alpha_d} = 1. \quad (13)$$

Моделирование при искажении глубины модели, т. е. при $\alpha_x \neq \alpha_R \neq \alpha_n$,

$$\frac{\alpha_{g^*}}{\alpha_q \alpha_i^{1/2}} = 1, \quad (14)$$

$$\frac{\alpha_i \alpha_R}{\alpha_d} = 1. \quad (15)$$

Моделирование при искажении модели по длине, т. е. при $\alpha_x \neq \alpha_n$ и $\alpha_n = \alpha_b$,

$$\frac{\alpha_{g^*}}{\alpha_q \alpha_i^{1/2}} = 1, \quad (16)$$

$$\frac{\alpha_i \alpha_n}{\alpha_d} = 1 = \frac{\alpha_R}{\alpha_d}. \quad (17)$$

Таким же образом можно получить, пользуясь критериями подобия (4) и (5), соотношения между масштабами и при любом другом искажении модели для наносов, обтекаемых по квадратичному закону.

Для более мелких фракций, обтекаемых неквадратично, пока еще не составлено критериальное уравнение, и поэтому приходится пользоваться соотношениями, установленными полуэмпирической теорией турбулентного потока (предполагается, что моделируется турбулентный поток). На этой основе в работе 1948 г. (4) автором показано,

что необходимо искажение крупности модельных наносов против геометрического масштаба.

Коэффициент искажения β при этих условиях определяется отношением коэффициентов сопротивления натуры и модели

$$\beta = \frac{\lambda_{R \text{ мол}}}{\lambda_{R \text{ нат}}} \quad (18)$$

Поэтому для фракций, обтекаемых неквадратично,

$$\alpha_d = \frac{\alpha_x}{\beta} \quad (19)$$

Соотношение $\frac{\alpha_{R''}}{\alpha_{q'}} = 1$ остается в силе.

Исходя из изложенного, можно было бы безразмерный масштабный комплекс (5) для неквадратично обтекаемых фракций представить в таком виде:

$$\frac{\alpha_\gamma \alpha_i \alpha_R}{\alpha_{\gamma_n - \gamma} \alpha_j \beta \alpha_d} = 1, \quad (20)$$

и, следовательно, обобщенное критериальное уравнение будет:

$$\Phi \left(\frac{g''}{\gamma q' i^{1/2}}, \frac{\gamma}{\gamma_n - \gamma} \frac{i R}{\beta d} \right) \quad (21)$$

В случае квадратичного обтекания $\lambda_{R \text{ мол}} = \lambda_{R \text{ нат}}$ и $\beta = 1$; следовательно, уравнение (21) переходит в уравнение (1).

Так как на обычных пространственных моделях невозможно обеспечить моделирование и взвешенных наносов, то моделирование таких русловых процессов, которые могут привести к заметному влиянию отложений взвеси на изменения русла, невозможно.

Для неподпертых нижних бьефов и русел можно ограничиться моделированием влекомых наносов квадратично и неквадратично обтекаемых.

Таким образом, на базе теории подобия и теории размерностей получены масштабные соотношения для моделирования русловых процессов, критерии подобия и критериальное уравнение. Следовательно, нет оснований вести моделирование на чисто эмпирических основах, которыми пользовались до сих пор.

Водно-энергетический институт
Академии наук Арм.ССР

Поступило
23 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. В. Егиазаров, Изв. АН Арм.ССР, № 5 (1949). ² И. В. Егиазаров, Изв. АН Арм.ССР, № 1 (1950). ³ И. В. Егиазаров, Докл. АН Арм.ССР, 12, № 1 (1950). ⁴ И. В. Егиазаров, Докл. АН Арм.ССР, 8, № 5 (1948).