

РАСЧЕТ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕРАЗМЫВАЮЩЕЙ
СКОРОСТИ ДЛЯ НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

В данной работе предлагается методика определения подъемной силы, основанная на рассмотрении условий обтекания кругового цилиндра. Предлагаемая методика может быть использована при решении задачи о размывающих скоростях.

Для определения подъемной силы, действующей на частицу, используем аналитическую функцию комплексного переменного [7, 8]. Форму частиц принимаем цилиндрической (рис. 1): a – радиус цилиндра; F_y – подъемная сила; P_y – сила тяжести частицы. При плоском потенциальном поперечном обтекании полукругового цилиндра идеальной жидкостью справедливо уравнение Д.Бернулли:

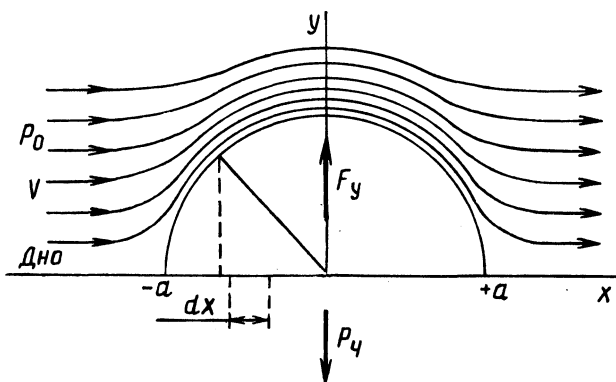


Рис. 1. Определение подъемной силы, действующей на частицу наносов русла.

$$P + \frac{\rho v^2}{2} = P_0 + \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

где P_0 и V – соответственно давление и скорость на бесконечном расстоянии от частицы цилиндрической формы; ρ – плотность жидкости. Определение подъемной силы в рассматриваемом случае проведем по эпюре давления.

Комплексный потенциал для этого случая равен

$$W = V(z + a^2/z),$$

где $z = ae^{i\theta}$;

$$\frac{dW}{dz} = V\left(1 - \frac{a^2}{z^2}\right) = v_x - iv_y = V;$$

$$\frac{a^2}{z^2} = \frac{1}{e^{i2\theta}} = e^{-2i\theta} = \cos 2\theta - i \sin 2\theta.$$

$$V(1 - \cos 2\theta + i \sin 2\theta) = v_x - iv_y.$$

$$\left. \begin{aligned} v_x &= V(1 - \cos 2\theta) \\ v_y &= -v \sin 2\theta \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} v_x^2 &= V^2(1 - 2 \cos 2\theta + \cos^2 2\theta) \\ v_y^2 &= V^2 \sin^2 2\theta \end{aligned} \right\}$$

$$v^2 = v^2(1 - 2 \cos 2\theta + \cos^2 2\theta) + v^2 \sin^2 2\theta;$$

$$v^2 = v^2(2 - 2 \cos 2\theta).$$

Используя уравнение (1), можно получить эпюру давления

$$\begin{aligned} P - P_0 &= \frac{\rho}{2} (V^2 - v^2) = \frac{\rho}{2} V^2 [1 - (2 - 2 \cos 2\theta)] = \\ &= \frac{\rho}{2} V^2 (-1 + 2 \cos 2\theta); \quad \frac{F - P_0}{\frac{\rho V^2}{2}} = \\ &= -1 + 2 \cos 2\theta = 1 - 4 \sin^2 \theta; \quad P - P_0 = \frac{\rho V^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta); \end{aligned}$$

$$x = a \cos \theta; \quad dx = -a \sin \theta d\theta;$$

$$x = -a = a \cos \theta \quad \text{при} \quad \cos \theta = -1 \quad \text{и} \quad \theta = \pi;$$

$$x = a = a \cos \theta \quad \text{при} \quad \cos \theta = 1 \quad \text{и} \quad \theta = 0.$$

Отсюда подъемная сила

$$F_y = \frac{\rho V^2}{2} \int_{-a}^a (1 - 4 \sin^2 \theta) dx,$$

$$\begin{aligned} \text{т.е.} \quad F_y &= -\frac{\rho V^2}{2} a \int_{\pi}^0 (1 - 4 \sin^2 \theta) \sin \theta d\theta = \frac{\rho V^2}{2} a \int_0^{\pi} (1 - \\ &- 4 \sin^2 \theta) \sin \theta d\theta = \frac{\rho V^2}{a} a \left[2 - 4 \int_0^{\pi} \sin^3 \theta d\theta \right] = \\ &= \frac{\rho V^2}{2} a (2 - I), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{где} \quad I &= \int_0^{\pi} 4 \sin^3 \theta d\theta = -\int_0^{\pi} \sin 3\theta d\theta + 3 \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta = 4 \left[\left(-\frac{\cos \theta \sin^2 \theta}{3} \right) \Big|_0^{\pi} + \right. \\ &\left. + \frac{2}{3} \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta \right]. \end{aligned}$$

Следовательно, подъемная сила в окончательном виде:

$$F_y = \frac{\rho V^2}{2} a \frac{10}{3} = \frac{5}{3} \rho U_a^2, \quad (2)$$

где знак (+) свидетельствует о направлении силы F_y вверх. Сопоставление F_y по формуле (2) с весом цилиндра диаметром $2aP_y$ проводилось по результатам исследований [1–5, 10, 11]. Как позволили установить результаты этого сопоставления, подъемная сила превышает вес частицы, что нереально. Песчаные частицы русел каналов в преобладающем большинстве имеют форму, отличную от кругового цилиндра, о чем свидетельствуют натурные исследования [5, 6, 9]. Также установлено, что крупные (гравийные частицы) менее окатаны, чем средние и мелкие. Однако частицы менее 0,05 мм совсем не окатываются потоком (рис. 2). Необходимо иметь в виду, что при определении неразмывающей скорости следует вводить поправочные коэффициенты,

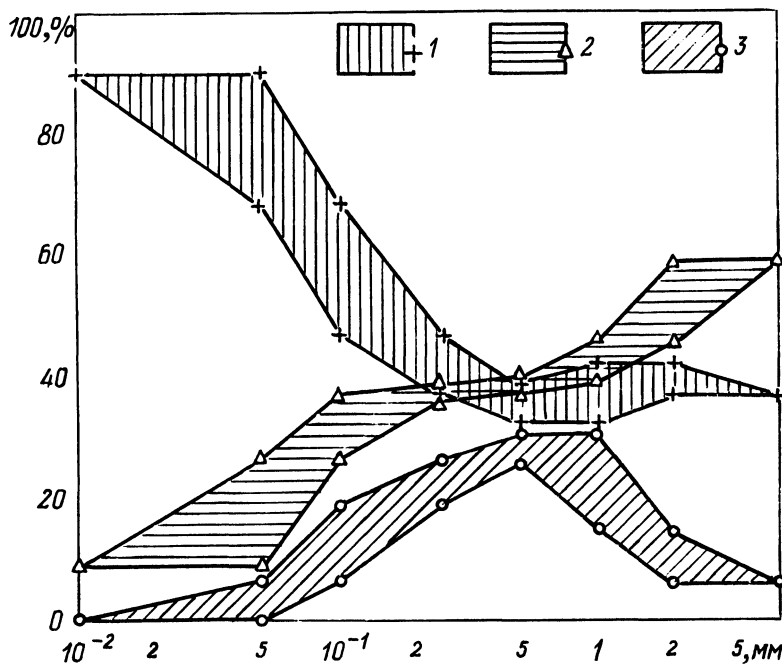


Рис. 2. Зависимость формы частиц песка от их крупности: по вертикали — проценты частиц песка в пробе донных отложений в речном русле, по горизонтали — диаметр частиц от 10^{-2} до 5 мм. 1 — угловатые частицы; 2 — полуокатанные; 3 — округленные.

учитывающие следующие факторы: неоднородность несвязного грунта, коэффициент вязкости жидкости, влияние турбулентных пульсаций скорости и давления, глубину и ширину потока, механизм подруслового движения воды. Следовательно, это решение можно использовать для обоснования начальной скорости движения частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров В.Н. О взвешивании наносов. — М. — Л., 1933. — 174 с. 2. Шамов Г.И. Речные наносы. — Л., 1954. — 378 с. 3. Великанов М.А. Русловой процесс. — М.,

1958. — 396 с. 4. Караушев А.В. Речная гидравлика. — Л., 1969. — 416 с. 5. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. — М.—Л., 1948. 6. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов. — М., 1969. — 115 с. 7. Смирнов В.Н. Курс высшей математики. — М.—Л., 1951, т. 3. — 811 с. 8. Шнеерсон М.С., Кудряшова Н.Ф. Об одной задаче наклонной производной для гармонической функции трех независимых переменных. — В кн.: Дифференциальные уравнения. Минск, 1972, т.10, с.1906—1908. 9. Фадеев П.Н. Пески СССР. — М., 1951. — 290 с. 10. Кудряшов А.Ф. Результаты некоторых опытов по изучению русловых потоков на размываемых моделях. — Труды III. Всесоюзн. гидрол. съезда, 1960, т. 5, с. 229—236. 11. Коротков В.Е. К выводу обобщенной формулы неразмывающей скорости для несвязных грунтов. — Гидротехническое строительство. М., 1976, № 10, с. 27—28.

УДК 532.5

А.С.КАЛИНОВИЧ, канд. техн. наук (ЦНИИКИВР)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ПОДСТИЛАЮЩЕМ ПОТОК НЕСВЯЗНОМ ГРУНТЕ

Исследованиями последних лет установлено, что скорость и ее пульсации на водонепроницаемой границе не равны нулю и распространяются на некоторую глубину подстилающего поток несвязного грунта [1, 2]. Пульсации скорости в грунте не совпадают по фазе и амплитуде с пульсациями в придонной области [3]. Это несовпадение приводит к периодическому возникновению на верхней грани частиц пониженного давления, а на нижней — повышенного. С целью изучения этого явления и установления роли взвешивающего усилия, возникающего вследствие рассогласования давления, в нарушении устойчивости частиц и были осуществлены специальные эксперименты.

Опыты проводились на гидравлической установке с замкнутым оборотом рабочей жидкости. Использовался лоток сечением 0,145 x 0,145 м, длиной 8,0 м, имеющий на расстоянии 3,5 м от выхода прямок, в который загружается исследуемый грунт.

Исследование осуществлялось с помощью электрохимического способа измерения скоростей [4], сущность которого заключается в придании исследуемому потоку свойств электропроводности и в измерении скоростей вводимыми в него электродами. В качестве рабочей среды был использован водный раствор солей $K_3Fe(CN)_6$ и $K_4Fe(CN)_6$ с совместной весовой концентрацией 1—2 %, приемников скоростей — одиночные электроды с приемным элементом из платины, имеющим сферическую форму (диаметр 1 мм). Схема соединения приемников скоростей с источником питания и измерительной аппаратурой показана на рис. 1.

В процессе предварительных измерений устанавливался оптимальный режим работы приемников скоростей, т.е. такие условия, при которых становилось возможным получение максимально полезного сигнала при минимальной помехе. Эти условия зависят от рабочего напряжения V и величины внешней нагрузки R , устанавливаемых при пропускании электролита через столб песка, в котором помещался приемник скорости. Окончательно для измерений были приняты $V = 1,3$ В и $R = 1$ кОм.