ние и санитарная техника, 1977, № 6. 5. Старинский В.П. Проектирование водоводов минимальной приведенной стоимости и заданной надежности подачи воды потребителям. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1980, вып. 10.

УДК 626/627.001.57

С.П.Гатилло, асп. (БПИ)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МАСШТАБОВ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРУБЧАТЫХ ВОДОСБРОСОВ

При исследовании гидравлики трубчатых водосбросов необходимо знать, каким условиям должны отвечать параметры моделей, чтобы полученные результаты можно было перенести на натурные сооружения.

Вопросам моделирования гидротехнических сооружений посвящено много работ, наиболее обобщающие из них — А.П.Зегжды [1], И.И. Леви [2], А.Д.Альтшуля [3].

В работах [1, 2] рассматриваются условия автомодельности, приводятся рекомендации по определению минимального допустимого числа Рейнольдса $Re_д$, при превышении которого для обеспечения подобия явлений можно пользоваться законом моделирования по Фруду. Здесь показывается: чтобы определяющими были силы тяжести, а влияние сил вязкости было незначительным, минимальный линейный масштаб модели должен определяться выражением

$$a_l = \left(\frac{Re_{гр}}{Re_н}\right)^{2/3}, \quad (1)$$

где $a_l = \frac{R_м}{R_н}$ — минимальный масштаб модели; $Re_{гр} = Re_д$ — граничное (допустимое) значение числа Рейнольдса; $Re_н$ — число Рейнольдса для потока в натуре; $R_н$ и $R_м$ — гидравлические радиусы потоков натурного и модельного сооружений.

При этом в работах [1—3] указывается на то, что при равенстве коэффициентов сопротивления модельного и натурного потоков

$$\lambda_м = \lambda_н \quad (2)$$

будет обеспечено подобие натуры и модели в том случае, когда модельный поток относится к гладкой, переходной или квадратичной, а натурный — к переходной или квадратичной областям сопротивления.

Для учета области сопротивления, в которой проводится моделирование, предложено большое количество зависимостей для определения значения граничных чисел Рейнольдса, например для доквадратичной области

$$Re_{гр} = \frac{14R}{k\sqrt{\lambda}} \text{ [2]}; \quad (3)$$

$$Re_{гр} = \frac{10D}{k} \ [3], \tag{4}$$

а для квадратичной

$$Re_{гр} = \frac{84R}{k\sqrt{\lambda}} \ [2]; \tag{5}$$

$$Re_{гр} = \frac{500D}{k} [3], \tag{6}$$

где R и D — гидравлический радиус и диаметр потока; λ — коэффициент гидравлического трения; k — эквивалентная шероховатость.

Однако, как показывает анализ, в таком виде выражение (1) затруднительно использовать для определения минимального масштаба модели во всех указанных областях сопротивления, так как при моделировании в доквадратичной области без применения дополнительных условий не будет выдерживаться равенство (2).

Заменой в выражении (1) $Re_{гр}$ зависимостью (3) и $Re_н = \frac{V_н R_н}{\nu_н}$ И.И.Леви получает следующую формулу [2]:

$$a_l = \left(\frac{14\nu_н}{V_н k_м \sqrt{\lambda_н}}\right)^2. \tag{7}$$

Индексы н и м относятся соответственно к натурному и модельному потокам.

При определении минимального масштаба модели по выражению (7) необходимо установить зависимость характеристик потока от Re [2], что не всегда удобно.

Для получения зависимости между геометрическим масштабом модели и характеристиками потока воспользуемся условием (2) и предложенными в литературе связями коэффициента трения, шероховатости и числа Рейнольдса.

А.Д.Альтшуль [3] для круглых труб с длиной тракта не менее (25—50) D предложил следующую обобщенную формулу для определения коэффициента сопротивления:

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{k}{D} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25}. \tag{8}$$

Решая (2) и (8) совместно, получаем

$$\frac{k_н}{D_н} + \frac{68}{Re_н} = \frac{k_м}{D_м} + \frac{68}{Re_м}. \tag{9}$$

Обозначим введенный А.Д.Альтшулем [3] показатель зоны турбулентности, соответствующий принимаемому для расчетного случая числу Рейнольдса Re, через П:

$$Re\frac{k}{D} = \frac{vk}{\nu} = П. \quad (10)$$

Из (10)

$$Re_м = \frac{П_м D_м}{k_м} \quad (11) \qquad и \qquad Re_н = \frac{П_н D_н}{k_н}. \quad (12)$$

Решая вместе (9), (11) и (12), получим выражение для масштаба

$$L = \frac{D_н}{D_м} = \frac{k_н}{k_м}\,\frac{\left(1 + \frac{68}{П_н}\right)}{\left(1 + \frac{68}{П_м}\right)}, \quad (13)$$

которым удобно пользоваться для определения пределов варьирования геометрических размеров модели, если выбран определенный материал для ее изготовления, принято расчетное $Re_н$ для натурного сооружения и известна область сопротивления, в которой работает модель.

Величина L будет минимальной при максимально возможном $П_н \to \infty$ (квадратичная область сопротивления) и минимально возможном $П_м$ (по данным А.Д.Альтшуля, $П_м = 10$ [3] для доквадратичной области сопротивления), т.е.

$$L_{мин} = \frac{D_н}{D_м} = \frac{k_н}{k_м\left(1 + \frac{68}{П_м}\right)}. \quad (14)$$

При перенесении зоны работы модели в квадратичную область величина $L_{мин}$ будет возрастать.

Для примера рассчитаем, в каком минимальном масштабе можно моделировать трубу из сборного железобетона. В качестве материала модели выберем оргстекло.

Принимаем $П_м = 10$ [3], $k_н = 0{,}25$ см [4], на основании работ [5–7] $k_м = 0{,}0015$ см. Тогда геометрические размеры модели, по (14), должны быть меньше размеров трубчатого водосброса не более чем в $L_{мин} = \frac{0{,}25}{0{,}0015\left(1 + \frac{68}{10}\right)} = 21{,}4$ раза.

Если решим совместно выражения (9), (11) и $Re_н = \frac{V_н D_н}{\nu_н}$, то получим зависимость для минимально допустимого масштаба модели в следующем виде (для конкретных параметров потока в натуре):

$$L = \frac{D_н}{D_м} = \frac{1}{1 + \frac{68}{П_м}}\cdot\frac{k_н}{k_м} + \frac{68}{1 + \frac{68}{П_м}}\cdot\frac{\nu_н}{V_н k_м}. \quad (15)$$

Выразив $k_м$ из (10) и приняв $\nu_н = \nu_м$, получим:

$$\frac{D_н}{D_м} = \frac{П_м}{П_м + 68} \cdot \frac{k_н}{k_м} + \frac{68}{П_м + 68} \cdot \frac{V_м}{V_н}; \qquad (16)$$

$$\frac{k_н}{k_м} = \frac{П_м + 68}{П_м} \cdot \frac{D_н}{D_м} - \frac{68}{П_м} \cdot \frac{V_м}{V_н}; \qquad (17)$$

$$\frac{V_н}{V_м} = \frac{П_м + 68}{68} \cdot \frac{D_н}{D_м} - \frac{П_м}{68} \cdot \frac{k_н}{k_м}. \qquad (18)$$

Если учесть, что $\frac{V_м}{V_н} = \frac{1}{\sqrt{L}}$ [3], получим из (17)

$$\frac{k_н}{k_м} = \frac{П_м + 68}{П_м} L - \frac{68}{П_м} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} = L + \frac{68}{П_м} \left(L - \frac{1}{\sqrt{L}}\right). \qquad (17')$$

Полученные зависимости (15) — (18) полнее раскрывают взаимоотношения характеристик двух гидравлически подобных труб, ими удобно пользоваться при подборе материала модели и ее размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Згежда А.П. Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей. — Л. —М., 1938. 2. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. — Л., 1967. 3. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. — М., 1970. 4. Идельчик Е.И. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — Л., 1975. 5. Гидравлические расчеты туннельных и трубчатых водосбросов гидроузлов/А.Ф.Бурков, Р.С.Гальперин, М.Я. Гильденблат и др. Под общ. ред. Ф.Г.Гунько. — Л., 1974. 6. Оффенгенден Ю.С. Формулы для гидравлического расчета пластмассовых труб. — Научные записки МГМИ, т. 32, 1968. 7. Шевелев Ф.А., Лобачев П.В., Рудин М.Я. Исследование гидравлических сопротивлений при движении воды по трубам из пластмасс. — Сб.тр.НИИ санитарной техники Академии строительства и архитектуры СССР, 1960, № 5.

УДК 626/627

В.Д.КЕРНИЦКИЙ, ст.инж. (ЦНИИКИВР)

ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ РАСЧЕТЕ СИФОННОГО ВОДОВЫПУСКА С ЗАРЯДНОЙ ТРУБКОЙ

Работа сифонного водовыпуска с зарядной трубкой [1] обусловлена захватом и выносом воздуха струей воды. Такое явление наблюдается и в других гидротехнических сооружениях. Однако до сих пор не имеется общего теоретического решения, описывающего все разнообразие условий захвата воздуха и движения аэрированных потоков.

В связи с этим исследования гидротехнических сооружений обычно проводят на моделях, основываясь на законах динамического подобия. В случае