

ГИДРАВЛИКА

И. В. Егвазаров, действ. чл. АН Армянской ССР

Расход донных наносов

(Представлено 1 II 1950)

Существующие эмпирические формулы для расчета расхода донных наносов, базирующиеся на лабораторных измерениях, не обобщенных по методам теории подобия, не позволяют рекомендовать их для применения вне области, охваченной опытами, и, разумеется, неприменимы для естественных потоков.

В результате использования специально обработанных, с учетом влияния стенок лотков, экспериментов Гидроэлектрической лаборатории, лаборатории Узбекской АН, Берклейской лаборатории, Берлинской лаборатории и американской лаборатории USWES, показано, что для фракций $d < 5\delta$, т. е. при неквадратичном обтекании ($Re_* < 60$) принципиально не может быть получена такая же зависимость, как и для $d > 5\delta$, т. е. для квадратичного обтекания ($Re_* > 60$); Re_* — число Рейнольдса, отнесенное к зерну и к скорости касательного напряже-

ния $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$; δ — толщина ламинарного придонного слоя.

Зависимость безразмерного комплекса $\frac{p''}{i^{1/2}}$ от безразмерного комплекса $\frac{S - S_0}{S_0}$ или от $\frac{S}{S_0}$, т. е. зависимость содержания донных наносов p'' от относительного избытка влекущей силы показывает (фиг. 1), что значения для $\frac{p''}{i^{1/2}}$ резко различны для фракций $d < 1,5$ м при

$\frac{d}{\delta} < 5$; это приводит к во много раз меньшему расходу наносов для мелких фракций; выявление этого обстоятельства с полной резкостью оказалось возможным благодаря представлению опытных данных в координатной системе отмеченных выше безразмерных комплексов. По этой причине, в дальнейшем рассмотрению подвергается расход донных наносов для фракций от $d = 1,5$ м и больше, вплоть до валунов и камней, т. е. для случаев квадратичного обтекания.

Поэтому стремление применять формулы для полного диапазона

крупностей, вплоть до фракции $d < 1$ м.м. и следовательно объединять зависимости для неквадратичного и квадратичного обтекания, не может считаться правильным.

С использованием теорий подобия и размерностей показано, что явление зависит от безразмерного критерия расхода наносов (содержание наносов) $p'' = \frac{g''}{\gamma q'}$ (где g'' — удельный расход донных наносов по весу в воде, q' — объемное выражение удельного жидкого расхода), от критерия влечения $\frac{S - S_0}{S_0}$ (где S_0 — начальная сила влечения), а также и от критерия трения $i_{тр}$.

$$\text{Получается критериальное уравнение } \varphi \left(p'', i, \frac{S - S_0}{S_0} \right) = 0, \quad (1)$$

$$\text{которое может быть приведено к виду } \varphi \left(\frac{p''}{i^{1/2}}, \frac{S - S_0}{S_0} \right) = 0. \quad (2)$$

Два безразмерных комплекса $\frac{p''}{i^{1/2}}$ и $\frac{S - S_0}{S_0}$, объединяют все факторы, определяющие влечение потоком наносов при квадратичном обтекании, т. е. определяют зависимость g'' от q' , i , R , $\frac{R}{d}$, γ_n , γ (см. ниже).

$$\text{Зависимость } \frac{p''}{i^{1/2}} = \varphi \left(\frac{S - S_0}{S_0} \right), \text{ универсальная для квадратичного}$$

обтекания, так как моделирует явление.

Для определения вида зависимости использовано больше 300 экспериментов отмеченных выше лабораторий, обработанных с приведением к двум безразмерным комплексам (фиг. 1 и 2).

Опыты указали на линейную зависимость, т. е. привели к уравнению:

$$\frac{p''}{i^{1/2}} = 0,015 \frac{S - S_0}{S_0}. \quad (3)$$

Среднее значение числового коэффициента $k_1 = 0,015$; предельное значение $k_1 = 0,030$ (фиг. 1 и 2).

При принципиально неизбежном, для влечения потоком наносов, разбросе точек, связь между избранными безразмерными комплексами выражена довольно четко и получается линейной (фиг. 2); разброс точек связан с явлением песчаных волн и гряд и с пульсацией расхода наносов. Чрезвычайно важно отсутствие сортировки точек по какому либо из влияющих факторов, что указывает на правильный отбор решающих факторов и на правильное объединение этих факторов в два безразмерных комплекса.

Устанавливается следующий закон расхода донных наносов: *содержание влекомых потоком наносов пропорционально относитель-*

237 186

Шилберт -

- Лопшин

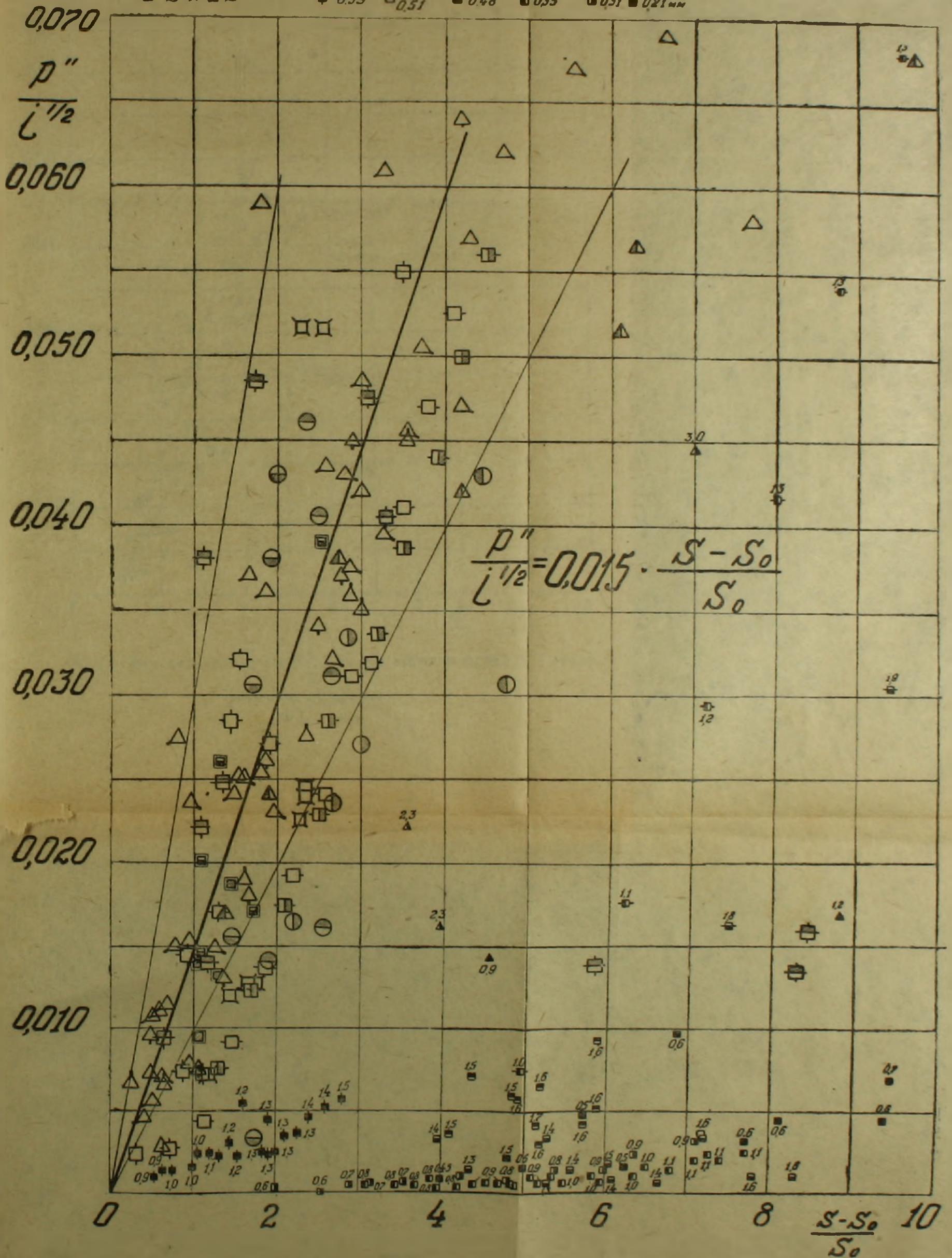
Шилберт 252

Мухомедов

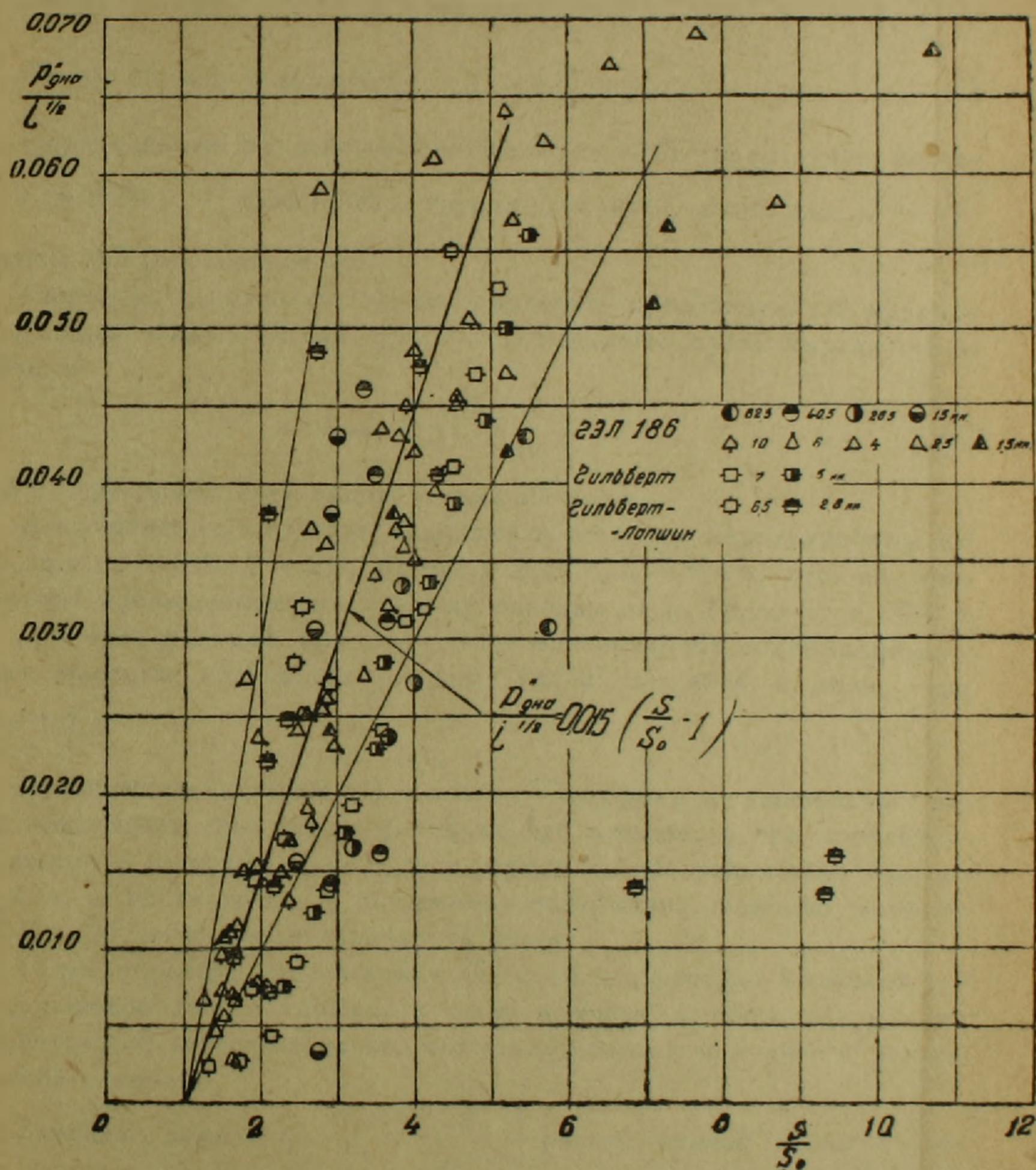
Casey

USWES

- 625 ● 405 ● 265 ● 15 ▲ 0,75 ▲ 0,38
- ▲ 10 ▲ 6 ▲ 4 ▲ 2,5 ▲ 1,5 мм
- 6,5 □ 2,8 мм
- 70 □ 50 □ 0,5 □ 0,375 мм
- 1,9 смесб
- 25 ■ 1,3 смесб
- 0,59 ■ 0,54 ■ 0,51 ■ 0,48 ■ 0,35 ■ 0,31 ■ 0,21 мм



Фиг. 1. Зависимость $\frac{p''}{j^{1/2}} = \varphi\left(\frac{S - S_0}{S_0}\right)$ для крупных и мелких фракций. Цифры над точками мелких фракций дают величину отношения d к δ .



Фиг. 2. Зависимость $\frac{p''}{i^{1/2}} = \varphi \left(\frac{S}{S_0} \right)$ для крупных фракций — квадратичное обтекание.



ному избытку влекущей силы и корню квадратному из уклона трения.

Следовательно, предлагаемое для расхода влекомых потоком наносов уравнение отличается тем, что оно построено на базе теоретических соображений и имеет определенный физический смысл.

Приведенная выше зависимость приводит к следующей формуле расхода влекомых потоком наносов по весу в воде:

$$g'' = k_1 \gamma q' i^{1/2} \frac{S - S_0}{S_0} = K \gamma q' i^{3/2} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_n - \gamma} \cdot \frac{R}{d} \left[1 - f \cdot \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \cdot \frac{d}{Ri} \right]. \quad (4)$$

$$\text{То же по весу в воздухе: } g = g'' \frac{\gamma_n}{\gamma_n - \gamma}. \quad (5)$$

Определенные по данным опытов $k_1 = 0,015$ (предельное значение $k_1 = 0,030$) и коэффициент трения $f = 0,030$, дают для $K = \frac{k_1}{f}$ значение 0,5 (предельное 1,0).

Формула (4) позволяет также определить предельную по крупности фракцию $d_{\text{макс}}$, так как при $g'' = 0$ равняется нулю выражение в скобке, и

$$d_{\text{макс}} = \frac{1}{f} Ri \frac{\gamma}{\gamma_n - \gamma}, \quad (6)$$

γ_n и γ — удельные веса наноса и жидкой массы.

В применении к случаю близкому к селевому водокаменному потоку, при $i = 0,010$; $R = 2 \text{ м}$, формула дает $d_{\text{макс}} = 0,4 \text{ м}$, что не противоречит наблюдениям по селевому паводку на р. Гедар 25 V 1946 г.

Для этих условий, при $d_{\text{ср}} = 0,2 \text{ м}$ максимальное содержание влекомых наносов получается равным 3 кг/м^3 по весу в воде, при $\frac{k_1}{f} = 1,0$.

Применение формулы (4) к потоку, несущему и взвешенные наносы показывает, при тех же условиях, что и выше, и при концентрации взвеси в жидкости в 24%, т. е. при $\gamma = 1,40$, увеличение $d_{\text{макс}}$ до 0,75 м, т. е. почти вдвое, и предельное содержание влекомых наносов до $8,15 \text{ кг/м}^3$, т. е. увеличение почти втрое.

Таким образом, предлагаемая формула для расхода влекомых потоком наносов дает возможность также и учета влияния содержания (концентрации) взвеси на расход влекомых наносов при любом удельном весе наносов.

Заменяя в комплексе $\frac{p''}{i^{1/2}} = \frac{g''}{\gamma q' i^{1/2}}$ расход жидкой массы q' через $(q' - q'_0)$, где q'_0 — расход начального влечения, можно g'' выразить через $(q' - q'_0)$. Тогда формула получает такой вид:

$$g'' = \frac{k_2}{f} \frac{\gamma}{\gamma_n - \gamma} \gamma q' i^{3/2} \frac{R}{d} \left(1 - \frac{q'_0}{q'} \right). \quad (7)$$

Заменяя разность $(q' - q'')$ через $R(v - v_0)$, можно формулу привести и к такому виду:

$$g'' = \frac{k_3}{f} \frac{\gamma}{\gamma_H - \gamma} \gamma q' i^{3/2} \frac{R}{d} \left(1 - \frac{v_0}{v}\right). \quad (8)$$

Современем, когда накопится еще больше экспериментальных данных, можно будет значения числовых коэффициентов, а также значение коэффициента трения f , уточнить.

Гидроэлектрическая лаборатория
Водно-энергетического института
Академии Наук Армянской ССР
Ереван, 1950, январь.

Ի. Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՈՎ

Հոսուցնով տարվող ջրաբերուկների ելքը

Հողվածում, նմանության տեսության հիման վրա, հոսանքով տարվող ջրաբերուկների՝ գետի հատակի վրայով տեղափոխվելու ամբողջ երևույթը բերվում է շափում շունեցող երկու կոմպլեքսի:

$$\frac{p''}{i^{1/2}} = \frac{g}{\gamma q' i^{1/2}} \quad \text{և} \quad \frac{S - S_0}{S_0}$$

կազմված է հայտանշական (կրիտերիալ) հավասարում (1), որը բերված է հավասարում (2) տեսքին:

ՍՍՌՄ և արտասահմանի զանազան լարորատորիաների կատարած փորձերից ավելի քան 300-ի օգտագործումը թույլ տվեց ստացված կոմպլեքսների մեջ սահմանել գծային կախում (ֆիգ. 1 և 2) և որոշել այդ կապի թվային գործակիցը:

Այդպիսով ստացված է հետևյալ հավասարումը՝ $\frac{p''}{i^{1/2}} = 0,015 \frac{S - S_0}{S_0}$, որը բաց անելով՝ ստացվում է տարվող ջրաբերուկների ելքը հաշվելու հավասարում (4), որտեղ g'' -ն հոսանքով տարվող ջրաբերուկների վայրկենային տեսակարար ելքն է ըստ ջրի մեջ ունեցող քաշի, S -ը՝ տարման ուժը, S_0 -ն՝ տարման սկզբնական ուժը:

Վերևում շարադրվածը վերաբերում է ջրաբերուկի հատիկի քառակուսային շրջահոսման դեպքում կայունացած տուրբուլենտ հոսանքին:

Այդպիսով՝ սահմանվում է հոսանքով տարվող ջրաբերուկների ելքի հետևյալ օրենքը. Հոսանքով տարվող ջրաբերուկների պատճենակույթունը համեմատական է տանող ուժի հարաբերական հավելուցիքին և Եփման թեփածույթունից քառակուսի ստմատին:

Հետևապես, առաջարկված հավասարումն ունի ֆիզիկական որոշ իմաստ և կազմված է տեսական դատողությունների հիման վրա:

Բոլոր էքսպերիմենտալ կետերն արտահայտված են շափում շունեցող առաջարկված երկու կոմպլեքսից կազմված կոորդինատային սխեմայի միջոցով (ֆիգ. 1): Այդ գրաֆիկի վրա $d < 5 \text{ օ}$ (որտեղ օ -լամինար շերտի հաստությունն է) մանր ֆրակցիաների ջրաբերուկներն արտահայտող կետերը ցույց են տալիս $d > 5 \text{ օ}$ և $d < 5 \text{ օ}$ ֆրակցիաների համար որակական տարբերություն, այսինքն՝ անհրաժեշտ է քառակուսային և ոչ-քառակուսային շրջահոսումներն անջատել:

Շրջահոսման սեփմների անջատում հիդրավիկայում ընդունված է գետի հունի դիմադրությունը որոշելու, նաև կրիտիկական տանող ուժի համար, բայց մինչև այժմ այն չի առաջարկվել հոսանքով տարվող ջրաբերուկների ելքը հաշվելու համար: