ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XXII, 3, 1969 Серия технических наук

ГИДРАВЛИКА

О. М. АЙВАЗЯН

К МЕТОДИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ПЛАВНОИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ДВИЖЕНИИ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ

В основе современной гидравлики неравномерного плавноизменяющегося движения лежит дифференциальное уравнение [1]:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \lambda \frac{V^2}{8gR}\left(1 - \frac{\alpha}{\lambda}\frac{8R}{\omega}\frac{\partial \omega}{\partial t}\cdot\frac{\partial h}{\partial s}\right)}{1 - \frac{\alpha V^2 B}{g\omega}}, \qquad (1)$$

где h, λ, V, R, α, ω, b, B — соответственно глубина, коэффициент гидравлического сопротивления, средняя скорость, гидравлический радиус, коэффициент Кориолиса, площадь живого сечения, средняя ширина, ширина по зеркалу воды в данном живом сечении, а s, i, g — расстояние живого сечения от условного начала, уклон дна русла и ускорение силы тяжести.

При определении, входящего в (1), коэффициента гидравлического сопротивления (коэффициента Дарси) λ или однозначно с ним связанного коэффициента Шези C в настоящее время исходят из допущения, что эти коэффициенты, в случае плавноизменяющегося движения подчиняются тем же закономерностям, что и для равномерного движения и поэтому пользуются полуэмпирическими формулами, заимствованными из исследований равномерного движения.

Это допущение нуждается в экспериментальной проверке.

В литературе автору известно лишь одно экспериментальное исследование [2], посвященное гидравлическому сопротивлению плавноизменяющегося движения, где, кстати говоря, дается правильный метод определения коэффициента Дарси. Однако автор не может согласиться с выводом, приведенным в этой работе, о якобы полной идентичности закономерностей гидравлического сопротивления равномерного и плавноизменяющегося потоков, что в известной мере является следствием недостаточности экспериментального материала и ошибок допущенных при обработке опытных данных.

Применяемая в лабораторных или полевых исследованиях методика исследования гидравлического сопротивления плавноизменяющегося

движения обычно сводится к определению, тем или иным приближенным методом, среднего для всего изучаемого участка потока значения коэффициента сопротивления и отнесению этого значения к средним по участку значениям числа Рейнольдса $(Re)_{ср}$ и относительной шероховатости $\left(\frac{\Delta}{R}\right)_{ср}$ (см., например, [3]). Очевидно, что этот метод к выяснению особенностей гидравлического сопротивления плавнонзменяющегося движения не применим, так как при осредненных значениях коэффициента λ трудно уловить его изменчивость по пути.

Как уже было отмечено, правильный метод определения коэффициентов Дарси плавнонзменяющегося потока был предложен Беттесом [2].

Сущность этого метода заключается в том, что в упомянутой работе—для вычисления коэффициента Дарси используется дифференциальное уравнение, полученное на основании (1):

$$\lambda = \frac{8gR}{V^2}\left| i + \frac{\alpha V^2}{g\omega}\cdot\frac{\partial\omega}{\partial b}\cdot\frac{\partial b}{\partial s} - \frac{dh}{ds}\left(1 - \frac{\alpha V^2 B}{g\omega}\right)\right|. \qquad (2)$$

Все величины, входящие в правую часть выражения (2), определяются на основе опытных данных.

Пока гидравлика плавнонзменяющегося движения основывается на дифференциальном уравнении (1), методика Беттеса является принципиально строгой. Однако, с точки зрения техники обработки опытных данных она представляет ряд неудобств, связанных с необходимостью графического определения, в общем случае, трех градиентов и выполнения большого объема вычислений. В связи с этим может представить интерес предлагаемая методика исследования коэффициента гидравлического сопротивления λ неравномерного потока, связанная при большей точности с меньшим объемом вычислений.

В основе выражения (1) лежит равенство

$$\frac{dE}{ds} = -\lambda\frac{V^2}{8gR}, \qquad (3)$$

где удельная энергия потока

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g}. \qquad (4)$$

В силу (3) получается следующее выражение, рекомендуемое для исследования коэффициента сопротивления в заданных сечениях плавнонзменяющихся потоков

$$\lambda = -\frac{8gR}{V^2}\frac{dE}{ds}. \qquad (5)$$

В отличие от выражения (2), где требуется определение трех производных, формула (5) связана с определением одной производной, что при вычислениях приводит к большой точности. Производная, входящая в (5), определяется по опытной кривой

$$E = E(s). \tag{6}$$

Для иллюстрации применим предлагаемый метод к исследованию коэффициента гидравлического сопротивления λ в различных сечениях трех неравномерных плавноизменяющихся потоков в призматическом лотке прямоугольного сечения, выполненного из плексигласа, имеющего ширину $b = 25{,}8$ *см*, длину рабочей части $l = 8{,}0$ *м* и уклон дна $i = 0{,}002$*.

Неравномерные потоки в указанном лотке формировались при пропуске расходов $Q = 41{,}37$; 20,71 и 3,18 *л/сек* при нестесненном входе и выходе из лотка. Все три потока были спокойными. Движение во всех случаях происходило по кривой спада типа «b_1».

В табл. 1 приведены исходные данные, на основе которых для первого потока построены зависимости $h = h\ (S)$ и $E = E\ (S)$, показанные на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

$Q = 41{,}37$ *л/сек*; $\alpha = 1{,}05$; $\nu = 0{,}01$ *см²/сек*; $i = 0{,}002$

№ сеч.	S *м*	h *см*	ω *см²*	V *см/сек*	E *см*	№ сеч.	S *м*	h *см*	ω *см²*	V *см/сек*	E *см*
1	1,20	17,5	451,0	91,6	23,27	14	4,60	16,6	428,0	96,5	22,24
2	1,60	17,3	446,0	92,7	23,10	15	4,80	16,4	423,0	97,5	22,09
3	1,80	17,3	446,0	92,7	23,06	16	5,00	16,6	428,0	96,5	22,16
4	2,20	16,9	436,0	95,0	22,79	17	5,20	16,2	418,0	98,5	21,93
5	2,40	16,9	436,0	95,0	22,75	18	5,60	16,2	418,0	98,5	21,85
6	2,80	16,9	436,0	95,0	22,67	19	5,80	15,9	410,0	101,0	21,77
7	3,00	16,5	426,0	97,0	22,47	20	6,00	16,0	413,0	100,2	21,73
8	2,20	17,0	438,0	94,5	22,27	21	6,20	15,8	408,0	101,2	21,49
9	3,40	17,1	441,0	93,7	22,69	22	6,80	15,8	408,0	101,2	21,45
10	3,60	17,3	446,0	92,7	22,75	23	7,00	15,5	400,0	103,4	21,38
11	4,00	16,7	431,0	96,0	22,44	24	7,20	14,7	377,0	109,5	21,25
12	4,20	16,8	434,0	95,1	22,37	25	7,40	13,7	354,0	117,0	21,12
13	4,40	16,6	428,0	96,5	22,28	26	7,60	13,7	354,0	117,0	21,08

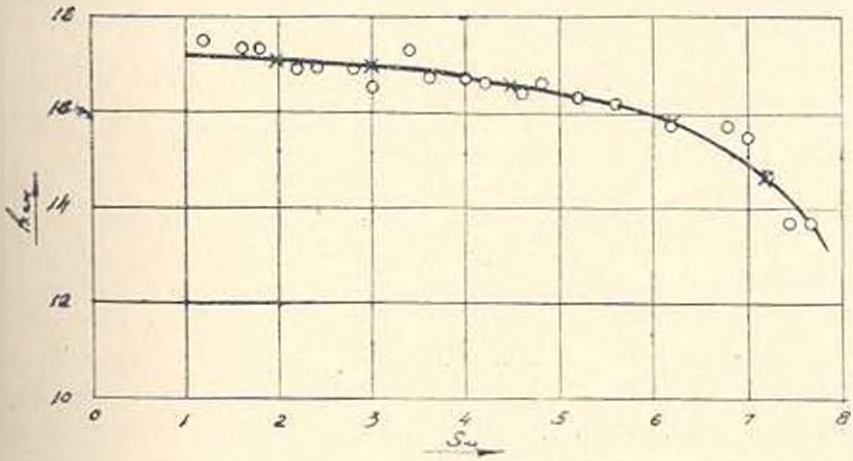

Рис. 1.

* Исследования проводились в гидротехнической лаборатории ВНИИГМ.

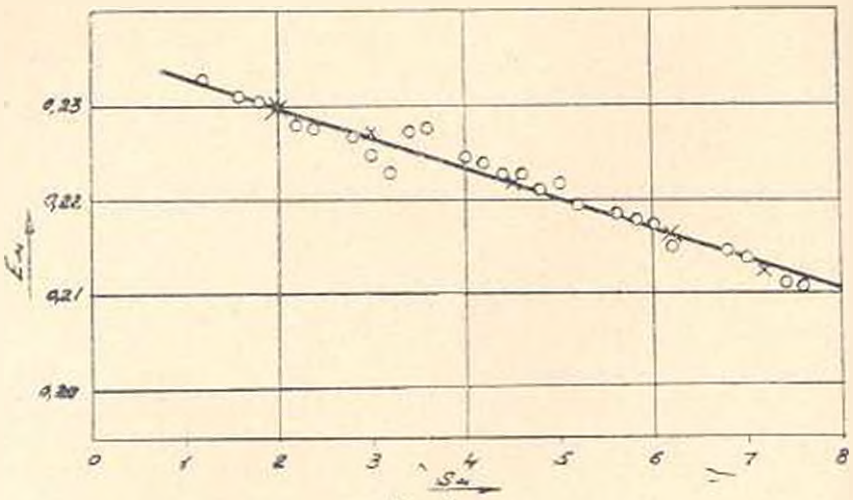

Рис. 2.

Результаты последующих вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

$\alpha = 1.05$, $\nu = 0{,}01$ *см²/сек*, $i = 0{,}002$

Q *л/сек*	№ сеч.	S *м*	h *см*	ω *см²*	R *см*	V *см/сек*	$\frac{dE}{dS}$	λ	Re	Fr	E *см*
41,37	1	2,0	17,10	441,0	7,35	93,7	−0,00322	0,0211	275000	0,55	22,97
	2	3,0	17,00	438,0	7,32	94,2	−0,00322	0,0209	276000	0,56	22,72
	3	4,5	16,60	428,0	7,25	96,0	−0,00322	0,0200	279000	0,59	22,20
	4	6,20	15,80	408,0	7,11	101,2	−0,00322	0,0175	288000	0,69	21,65
	5	7,20	14,70	379,0	6,81	109,5	−0,00322	0,0145	301000	0,88	21,25
20,71	1	2,0	10,60	274,0	5,84	75,7	−0,00256	0,0204	176000	0,58	14,67
	2	3,0	10,53	272,0	5,80	76,3	−0,00256	0,0200	177000	0,59	14,44
	3	4,5	10,37	267,0	5,74	77,7	−0,00256	0,0191	178000	0,62	14,09
	4	6,20	9,90	255,0	5,60	81,3	−0,00256	0,0173	182500	0,68	13,65
	5	7,20	9,5	245,0	5,46	84,7	−0,00256	0,0154	184500	0,78	13,35
3,18	1	2,0	3,28	84,65	2,62	37,6	−0,0022	0,0321	39,000	0,44	5,0
	2	3,0	3,24	83,60	2,59	38,1	−0,0022	0,0310	39,400	0,46	4,8
	3	4,5	3,18	82,00	2,55	38,8	−0,0022	0,0293	39,600	0,48	4,5
	4	6,20	3,10	80,00	2,50	39,7	−0,0022	0,0275	39,700	0,52	4,1
	5	7,20	2,97	76,50	2,44	41,8	−0,0022	0,0244	39,900	0,60	3,9

Исследование гидравлического сопротивления равномерного потока в том же лотке под руководством автора было проведено С. С. Багдасаряном. Оно показало, что при равномерном спокойном движении в лотке имеет место «гладкое» сопротивление, т. е. коэффициенты гидравлического сопротивления являются только функцией числа Рейнольдса.

Нанесение данных табл. 2, вместе с данными по равномерному движению спокойных потоков в том же лотке, на один график, построенный в координатах $\lg(100\lambda)$ и $\lg R_e$, позволяет выявить специфическую зону сопротивления

$$\lambda = f(R_e,\ I), \tag{7}$$

характерную для спокойных плавноизменяющихся потоков в технически гладком русле.

В выражении (7) I — гидравлический уклон, являющийся в данном случае параметром семейства кривых сопротивления.

Резюмируя изложенное, отметим ошибочность распространенного в гидравлике метода оценки гидравлического сопротивления неравномерного плавноизменяющегося потока посредством осредненного значения коэффициента сопротивления λ по длине потока.

На основе анализа опытных данных предлагаемым методом выявлено существенное различие в закономерностях гидравлического сопротивления равномерных и плавноизменяющихся потоков.

МГМИ

Поступило 25.VII.1968.

Հ. Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ԲԱՑ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓ ԴԱՆԴԱՂԱՓՈՓՈԽ ՇԱՐԺՄԱՆ ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆՏԱԼ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Նշվում է, որ բաց հուններում անհավասարաչափ դանդաղափոփոխ շարժման հիդրավլիկան դիմադրության գործակցի որոշման գոյություն ունեցող մեթոդներից միայն Բետեսի (2) կողմից առաջարկվածը կարելի է սկզբունքորեն ճիշտ համարել։

Սակայն այդ մեթոդի կիրառման ընդհանուր դեպքում կարող է հանգեցնել սխալների, քանի որ երեք ածանցյալների մեծությունների գրաֆիկական որոշում է պահանջում։

Հոդվածում առաջարկված է հիդրավլիկական դիմադրության գործակցի որոշման մեթոդ, որը կապված է միայն մեկ ածանցյալի մեծությունը գրաֆիկորեն որոշելու հետ։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агроскин И. И.* и др. Гидравлика. Изд. „Энергия", М.—Л., 1964.
2. *Betiess F.* An investigation of non-uniform flow in channels. Civil. Eng. and pablic works Review, vol. 52, № 609, 610, 1957.
3. *Маастик А. А.* Исследование сопротивлений движению воды в открытых призматических руслах. Изд. ЭСХА. Тарту, 1959.