

ГИДРАВЛИКА

В. Г. Саноян и М. Г. Хубларян

Способ профилирования шахтного водосброса

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. В. Егиазаряном 21. IV 1960)

Гидродинамические методы расчета обтекания тел получают все более широкое применение в технических вопросах. В значительно меньшей степени получили развитие методы теоретического расчета протекания жидкости через каналы.

В последнее время в гидротехнической практике получили применение шахтные водосбросы, правильный расчет которых совершенно необходим для удовлетворительной их работы. В неправильно спроектированных водосбросах могут возникнуть местные диффузорные области, что, как известно, может привести к отрыву пограничного слоя.

Существующие методы профилирования водосливов (Базен, Кригер и др. ⁽¹⁾) относятся к плоской задаче. Они фактически рассматривают водосливы бесконечно большим водосливным фронтом.

Ввиду отсутствия теоретического метода профилирования круглого в плане шахтного водосброса в работах ⁽²⁻⁵⁾ прибегают к экспериментальному определению очертания последнего.

В настоящей статье дается способ профилирования пространственного (осесимметричного) шахтного водосброса.

Рассматриваем течение идеальной, несжимаемой жидкости в сопротивляющейся среде.

На каждую частицу внутри водосброса действует сила тяжести и сопротивление пропорциональное квадрату скорости.

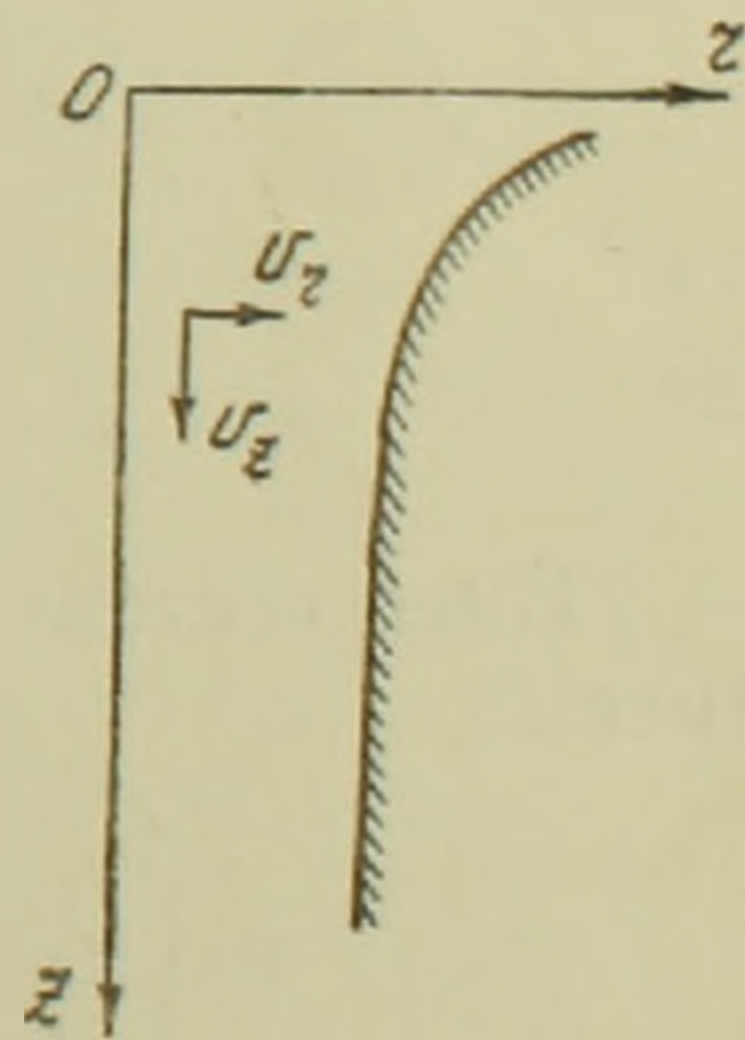
Напишем закон Ньютона для частицы, находящейся на оси шахты. Направляя ось z вертикально вниз (фиг. 1), будем иметь

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g - kv^2, \quad (1)$$

или

$$v \frac{dv}{dz} = g - kv^2. \quad (2)$$

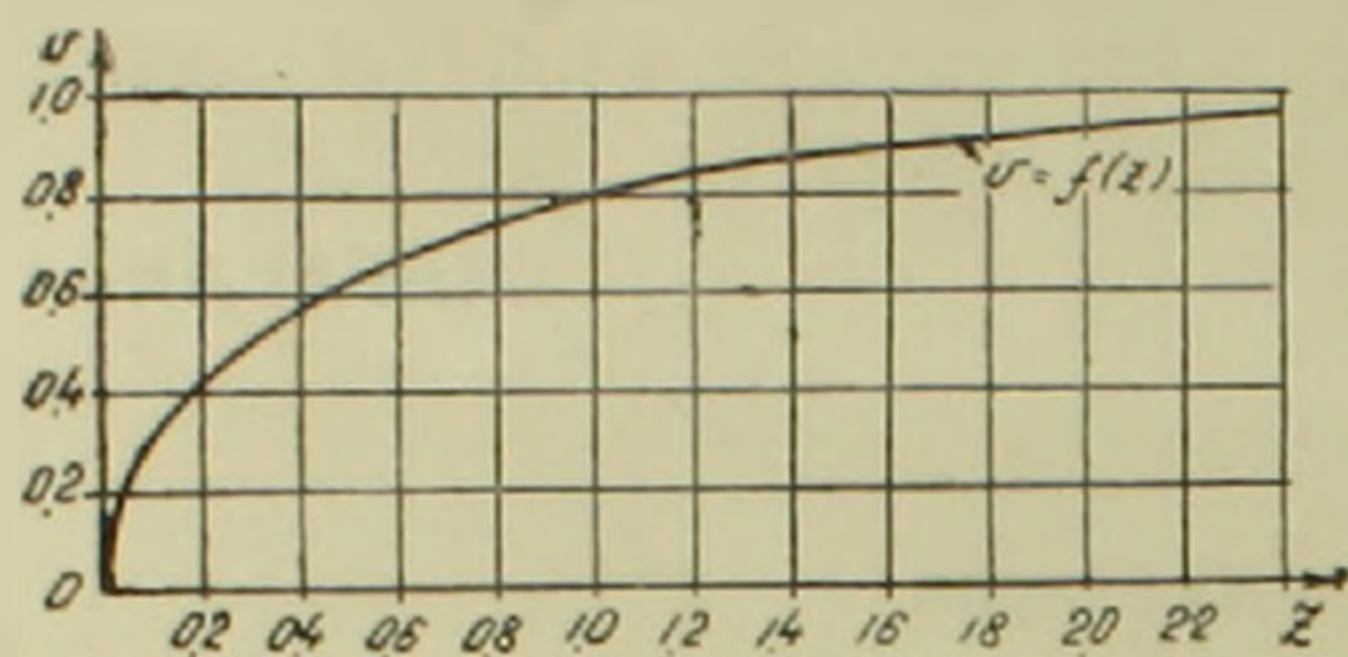
Решение этого дифференциального уравнения при граничных условиях $z = 0, v = 0$ и $z = \infty, v = v_0$



Фиг. 1.

$$v = v_0 \sqrt{1 - e^{\frac{-2g}{v_0^2} z}} \quad (3)$$

представит собой распределение скоростей по оси шахты (фиг. 2).



Фиг. 2.

Уравнение Лапласа для определения потенциала скоростей безвихревого потока идеальной жидкости

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0, \quad (4)$$

где r и z цилиндрические координаты, имеет решение

$$\varphi = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \varphi_0(z + ir \cos \omega) d\omega. \quad (5)$$

Продольная и радиальная составляющие скорости будут

$$V_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \varphi'_0(z + ir \cos \omega) d\omega. \quad (6)$$

$$V_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{i}{\pi} \int_0^\pi \varphi'_0(z + ir \cos \omega) \cos \omega d\omega. \quad (7)$$

На оси шахты согласно (6)

$$V_z/r=0 = v = \varphi'_0(z) = f_0(z). \quad (8)$$

Согласно (8) и (3) выражения (6) и (7) примут вид:

$$V_z = \frac{v_0}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1 - e^{-k(z + ir \cos \omega)}} d\omega \quad (9)$$

$$V_r = \frac{iv_0}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1 - e^{-k(z + ir \cos \omega)}} \cos \omega d\omega, \quad (10)$$

где

$$k = \frac{2g}{v_0^2}.$$

Имея составляющие скорости, легко определить функцию тока. Имеем

$$\psi = \int_0^r V_z r dr = \frac{v_0}{\pi} \int_0^\pi \int_0^r \sqrt{1 - e^{-k(z + ir \cos \omega)}} r dr d\omega. \quad (11)$$

Очертание профиля шахты выразится уравнением $\psi = \text{const}$

Интегралы (9), (10) и (11) в конечном виде не берутся. Разлагая подинтегральную функцию в ряд вблизи $t = z + ir \cos \omega$

$$\sqrt{1 - e^{-k(z + ir \cos \omega)}} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1}(n+1)!} e^{-k(n+1)(z + ir \cos \omega)}$$

подставляя в выражение (9), (10), (11) и проведя интегрирование будем иметь:

$$\frac{V_z}{v_0} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1}(n+1)!} e^{-(n+1)kz} J_0[(n+1)kr] \quad (12)$$

$$\frac{V_r}{v_0} = - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1}(n+1)!} e^{-(n+1)kz} J_1[k(n+1)r] \quad (13)$$

$$\frac{\psi}{v_0} = \frac{r^2}{2} - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1}(n+1)!(n+1)k} e^{-(n+1)kz} r J_1[(n+1)kr], \quad (14)$$

где J_0 и J_1 бесселевые функции соответственно нулевого и первого порядка.

Переходя к безразмерным величинам

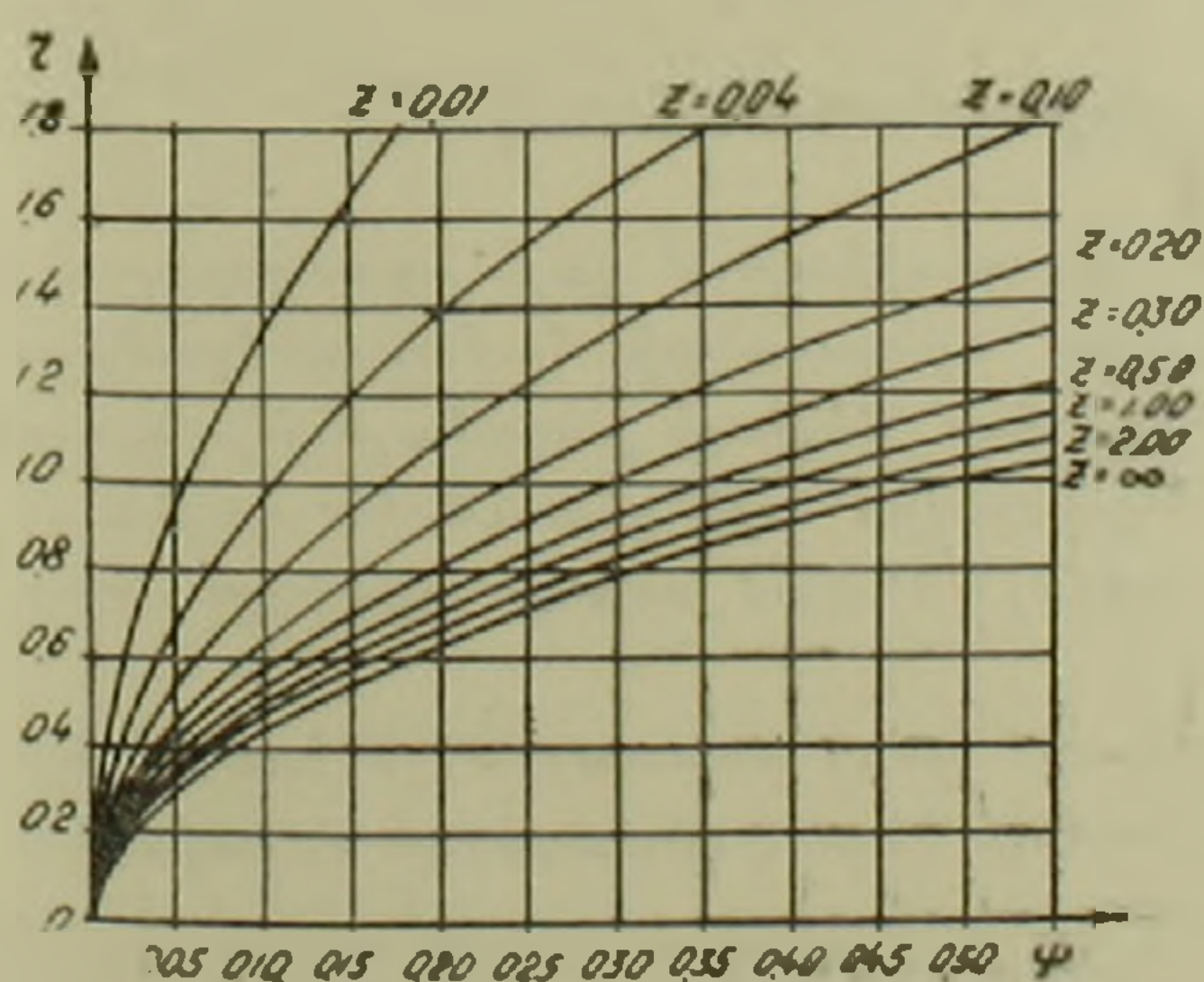
$$kr = \bar{r} \quad kz = \bar{z} \quad \frac{\psi k^2}{v_0} = \bar{\psi},$$

и опуская черточки, для функции тока получим следующее выражение:

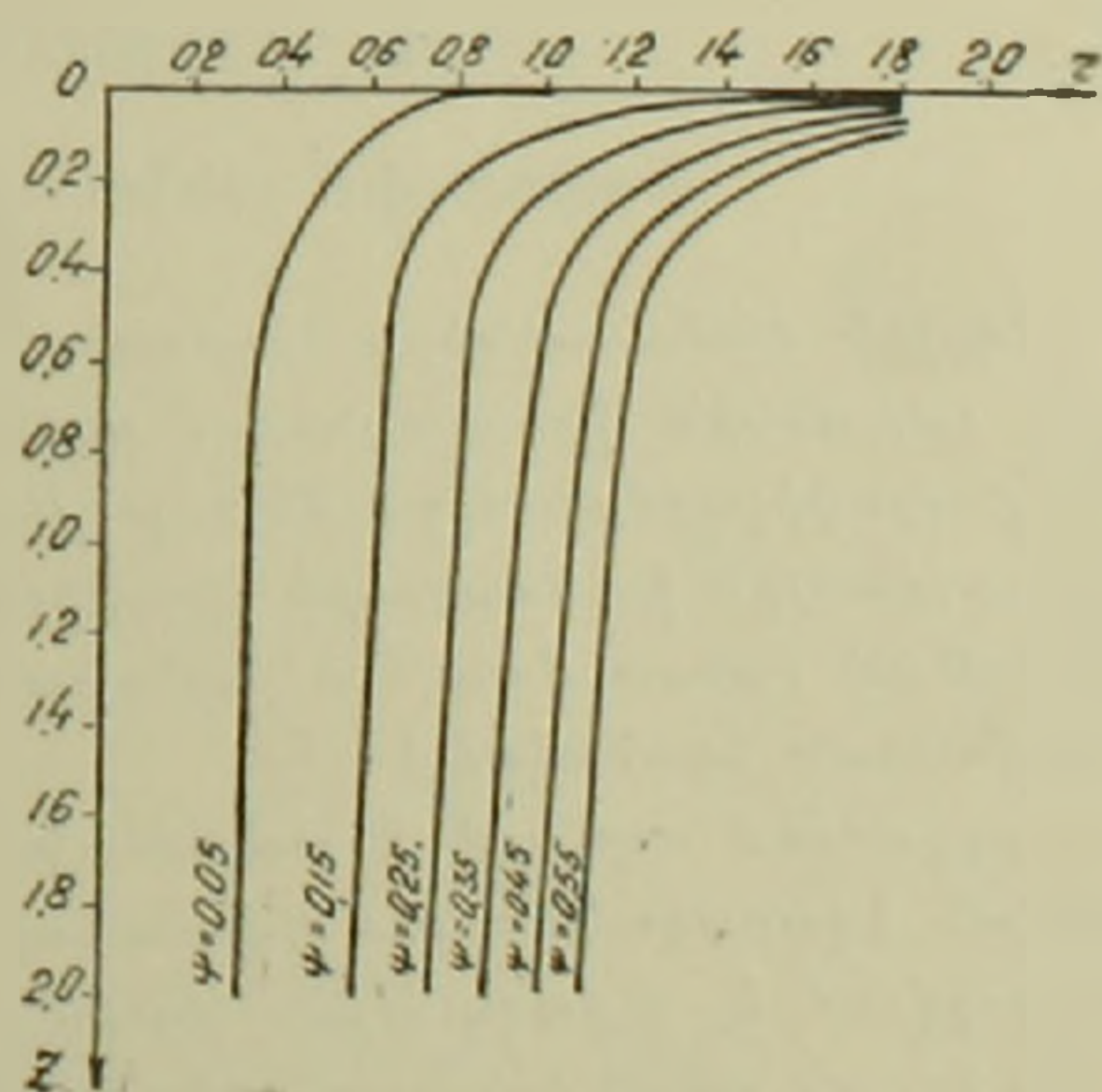
$$\psi = \frac{r^2}{2} - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1}(n+1)!(n+1)} e^{-(n+1)z} r J_1[(n+1)r]. \quad (15)$$

На графике фиг. 3 представлена зависимость функции тока ψ от r для различных z . При помощи этого графика на фиг. 4 проведены теоретические очертания профилей шахты.

Приведя кривые $\psi = \text{const}$ фиг. 4 к одному масштабу, получим



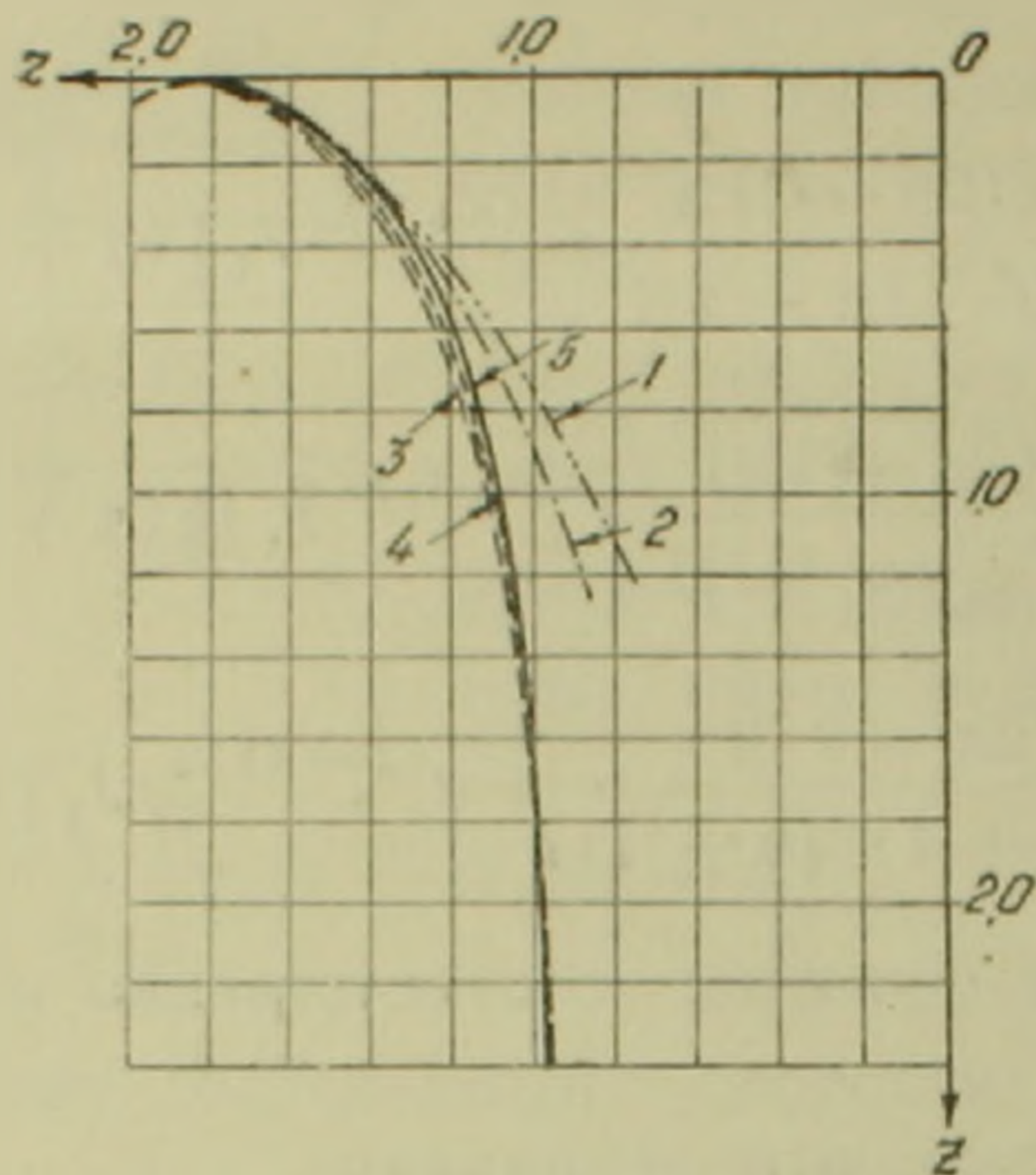
Фиг. 3.



Фиг. 4.

семейство профилей водосброса. Имея диаметр вертикальной шахты и воронки, а также высоту переходного участка, можно из графика

выбрать ту определенную кривую, которая соответствует этим данным. На фиг. 5 представлены экспериментальные кривые Вагнера и В. Г. Скрыги для шахтного водослива и кривые Кригера и Базена для прямого водослива, для сопоставления с теоретической кривой, там



Фиг. 5.

1—теоретический профиль Кригера;
2—теоретический профиль Базена;
3—экспериментальный профиль Вагнера; 4—экспериментальный профиль В. Г. Скрыги; 5—теоретический профиль по предложенному способу.

же приведена кривая, рассчитанная по вышеприведенному способу. Как видно из графика, совпадение с экспериментальными кривыми удовлетворительное.

Институт энергетики и гидравлики
Академии наук Армянской ССР

Վ. Գ. ՍԱՆՈՅԱՆ ԵՎ Ս. Հ. ԽՈՒԲԼԱՐՅԱՆ

Շախտային ջրհեռացի պրոֆիլացման եղանակ

Վերջին ժամանակներս հիդրոտեխնիկական պրակտիկայում լայն ոգտագործում են ստացել շախտային ջրհեռացները, որոնց բավարար աշխատանքի համար անհրաժեշտ է ունենալ պրոֆիլացման ճիշտ մեթոդ: Սակայն այդպիսի մեթոդի բացակայության պատճառով շախտային ջրհեռացների պրոֆիլացումը կատարելիս այն դիտում են որպես ուղղագիծ ջրթափ (անսահման մեծ ջրթափային ֆրոնտով) (1) կամ նրանց պրոֆիլը որոշում են փորձնական եղանակով (2-5)

Հողվածում տրվում է տարածական (պլանում կլոր) շախտային ջրհեռացի պրոֆիլացման եղանակ: Դիտվում է իդեալական, անսեղմելի հեղուկ դիմադրող միջավայրում: Նախ որոշվում է արագության փոփոխման օրենքը շախտայի առանցքի վրա՝ ելնելով այն բանից, որ առանցքի վրա գտնվող ջրի մասնիկի վրա ազդում են նրա կշիռը և ջրի դիմադրող ուժը, որը համեմատական է արագության քառակուսուն:

Այդ դեպքում շախտայի առանցքով շարժվող ջրի մասնիկների շարժման հավասարումը կարտահայտվի (1)-ով, իսկ արագությունների բաշխումն ըստ առանցքի կարտահայտվի (3) բանաձևով (նկ. 2):

Խնդիրը վեր է ածվում Գ արագությունների պոտենցիալի համար գրված (4) և աղ-
լասի հավասարման լուծմանը (զրված զլանայի Z և r կոորդինատներով): Երբ տրված է
նրա ածանցյալի փոփոխությունը շախտային Z առանցքի վրա:

Լուծումը ներկայացվում է (5) տեսքով, այդ դեպքում արագության վերափոխ (V_z) և ուղիալ (V_r) բաղադրիչները արտահայտվում են համապատասխանաբար (9) և
(10) բանաձևերով, իսկ հոսքի ֆունկցիան՝ (11) արտահայտությամբ: Քանի որ հիշյալ բա-
նաձևերում եղած ինտեգրալները վերջավոր տեսքով չեն վերցվում, ենթաինտեգրալային
արտահայտությունները վեր են ածվում շարքերի և անդամ առ անդամ ինտեգրվում:
Շարքերի տեսքով արագության բաղադրիչները և հոսքի ֆունկցիան ներկայացվում են
համապատասխանաբար (12), (13) և (14) արտահայտություներով: Հոսքի գծերը կառու-
ցելու համար հոսքի ֆունկցիան ներկայացվում է (15) չափազուրկ տեսքով:

Որպես շախտային ջրհեռացի պրոֆիլներ հանդիսանում են $\psi = \text{const}$ գծերը (մա-
կերևույթները): Նկ. 4-ում պատկերված են այդ գծերը, որոնք կառուցված են համաձայն
(15) արտահայտության: Նկ. 5-ում ցույց են տրված Վազների և Վ. Գ. Սկրյագայի էքս-
պերիմենտալ պրոֆիլները, ինչպես նաև Բազենի և Կրիգերի տեսական պրոֆիլները
(ուղիղ ջրթափի համար): Համեմատության համար նույն նկարի վրա բերված է նաև
վերոհիշյալ եղանակով կառուցված պրոֆիլը: Ինչպես երևում է նկարից տեսական կորերից
Վազների և Վ. Գ. Սկրյագայի էքսպերիմենտալ կորերի հետ ավելի լավ համընկնում է
վերոհիշյալ եղանակով կառուցված կորը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. И. Севко, К расчету шахтных водосливов, 1938. ² В. Э. Вагнер, Morning-glory shaft spillways: Determination of pressurecontrolled profiles Proc. Amer. Soc. Civil Eng-rs, 1954, 80, n. 432. ³ И. Н. Бредли, Morning-glory shaft spillways: proto-type behavior, Proc. Amer. Soc. Civil Eng-rs, 1954, 80, n. 431. ⁴ В. Г. Скрыга, К гидравлическому расчету шахтных водосбросов. Труды Харьк. инж.-строит. института, вып. 10, 1959. ⁵ Ж. Фор и Л. Пюнье, Ing. au Labor. Nat. d'Hydr. Etude de l'alimentation d'un evacuateur en puits. Communication présentée au VI Congrès Italien d'Hydraulique et Constr. Hydr. Padoue, mai, 1959.

