

Г. А. АМБАРЦУМЯН

## К РАСЧЕТУ НАНОСОСБРОСНОГО ЩИТА-СИФОНА

Схема предложенного нами щита-сифона\*, приспособленного для эвакуации разных фракций из зон скопления наносов, описана в [1, 2]. Разработанные нами щиты-сифоны получили применение в производстве и, как явствует из анализа их работы, себя оправдали [2].

Методика определения поля скоростей (компонентов скорости) в верхнем бьефе перед входом в сифонный водосброс с использованием того положения, что потенциал скорости безвихревого потока идеальной несжимаемой жидкости в случае плоского движения можно выразить через интеграл Фурье, дана в [2].

В данной статье приводится решение той же задачи (при тех же общепринятых допущениях) с помощью метода функций комплексных переменных.

Методика гидравлического расчета обычного сифонного водосброса разработана с достаточной степенью точности для практических расчетов. Теория же нанососбросного щита-сифона, в частности, определение поля скоростей перед входом в сифон, величин компонентов скорости и другие теоретические вопросы расчета в настоящее время только разрабатываются и нуждаются в лабораторной и натурной проверке в различных условиях. У входного сечения сифона при  $\omega = \text{const}$ , а также по длине сифона возникают большие скорости, которые способны транспортировать через сифон захваченные наносы. Величину скорости в сифонной трубе при затопленном выходном сечении можно определять:

$$V_c = \varphi_c \sqrt{2g \left( H_1 - H_2 + \frac{z V_0^2}{2g} \right)}, \quad (1)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  уровни воды в верхнем и нижнем бьефах;  $V_0$  — осредненное значение подводящей скорости потока у входного сечения сифона;  $\varphi_c$  — коэффициент скорости.

В рассматриваемом случае для расчета необходимо уточнить значение  $\varphi_c$  с учетом новых условий, в частности, условий входа и наличия наносов в потоке.

\* Щитовой комбинационный водосброс. Авторское свидетельство № 107682

Для определения нанососборной способности сифона, масштабной и мест его целесообразного использования, значительный практический интерес представляет выяснение границ захвата и эвакуации донных наносов при разных диаметрах наносов, изменения величины скорости в верхнем бьефе у входа в сифонный водосброс по мере удаления рассматриваемой точки от входа, т. е.  $V = f(x, y)$  и другие.

В лабораторных условиях рассмотрели эпюру распределения скоростей у входа в сифон. При этом в зависимости от высоты расположения входной кромки  $K$  (рис. 1) над дном получаются различные эпюры скоростей у входного сечения и, следовательно, различные наносозахватывающие и наносотранспортирующие способности сифона. Если входное сечение расположено так, что эта высота равна ширине сифонной трубы (рис. 1, а), то у входного сечения струи резко меня-

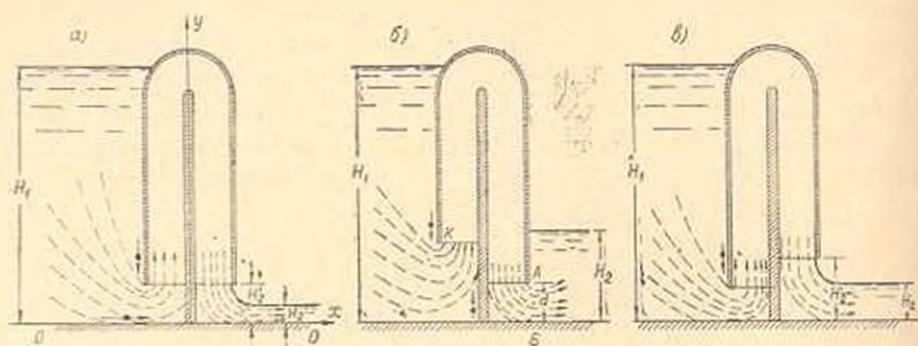


Рис. 1.

ют свое направление, становятся нормальными к сечению, входят в сифонную трубу и протекают дальше по трубе. В случае, когда эта величина значительно превосходит ширину сифонной трубы (рис. 1, б), поворот струи для нормального входа в сифонную трубу происходит плавнее, чем в предыдущем случае.

В зависимости от высоты расположения входного сечения сифона под ним происходит скопление тех фракций наносов, которые при данной ситуации могут легко перемещаться горизонтально, но сифоном не могут быть подняты и сброшены в нижний бьеф. Высота, размеры конуса скопленных наносов под входом в сифон, их гранулометрия постоянно меняются из-за отрывистого характера захвата наносов сифоном. (Заметим, что высота расположения входного сечения сифонной трубы берется не меньше ширины последней.) Установлено, что струи, входящие в сифонную трубу, вблизи от входа принимают нормальное направление к входному сечению трубы.

Выходное сечение сифонной трубы может быть либо затопленным, либо свободным (рис. 1, б, в). Затопленность выходного сечения с одной стороны может обеспечивать быструю зарядку сифона, с другой стороны—при малых напорах задерживать его зарядку [1].

Как показывает эксперимент, чем больше напор истечения, тем

резче происходит поворот струй у входа в сифон. С увеличением напора уменьшаются зоны „мертвых“ пространств как у входа в сифон у вертикальной стены, так и на дне водовода.

Рассматривая условия выходного сечения, можно установить:

1. При затопленном истечении действующим напором работы сифона будет разность уровней верхнего и нижнего бьефов с поправкой за счет подходных скоростей, которая определяется по формуле (1).

2. При незатопленности выходного сечения действующим напором необходимо считать разность  $H_1 - H_2$ , где  $H_1$  — высота расположения выходного сечения над плоскостью сравнения 0—0 (рис. 1 а, в).

Одновременно отметим, что в сифонной трубе рассматриваемой схемы возникает зона водоворота на месте резкого поворота струи со стороны нижнего бьефа, охватывающая часть поверхности плоского шита. Измерения показывают, что эта зона занимает тем больше пространства, чем больше действующий напор. Исследования структуры потока были произведены визуальными с помощью коротких ниток фиксаторов. Отметим, что скорости движения в периферийных точках входного сечения примерно равны, т. е.  $U_x \approx U_0$ , что соответствует условию  $H' > 10d$  (где  $H'$  — заглубление верхней кромки выходного отверстия под уровнем жидкости;  $d$  — высота кромки выходного отверстия при незатопленном истечении). При указанных условиях различие между  $U_x$  и  $U_0$  не существенно (менее 5%).

Таким образом, можно считать, что для рассматриваемого случая справедливо допущение:

$$U \left|_{x=0} - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=0} = f(y) - \varphi_0 V \sqrt{2g(H_1 - H_2)} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  — потенциал скоростей безвихревого потока в случае плоского движения;  $U$  — продольная скорости;  $x, y$  — координаты рассматриваемой точки;  $\varphi_0$  — коэффициент скорости.

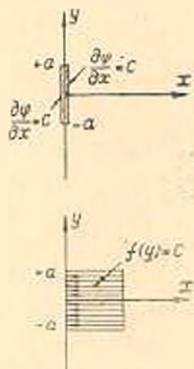


Рис. 2.

Указанные допущения справедливы для случая незатопленного истечения воды из сифона. В случае, когда выходное сечение сифона затоп-

лено, без каких-либо допущений скорость любой точки входного сечения можно выразить так:

$$U = \varphi_c \sqrt{2g(H_1 - H_2)} = \text{const.} \quad (3)$$

Рассмотрим входное сечение щита-сифона, совместив ось  $x$  с горизонтальной осью входного отверстия (рис. 2), а ось  $y$  — с глухой напорной стеной. Высоту отверстия обозначим через  $2a$ . Вдоль глухой стены  $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0$ , а во входном сечении в пределах  $[+a, -a]$  имеем

$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = f(y) = c$ . В рассматриваемом случае  $\varphi$  есть гармоническая функция и, согласно принципу симметрии и условию  $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0$  на стене, ее можно продолжить четным образом и в левую полуплоскость.

Для определения  $\varphi$  располагаем плоскостью с вырезом по оси  $y$  от  $-a$  до  $+a$ , на которой граничное условие запишется так:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = c = +\varphi_c \sqrt{2g(H_1 - H_2)}. \quad (4)$$

Рассмотрим аналитическую функцию:

$$\frac{dW}{dz} = \frac{\partial \varphi}{\partial z} + i \frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\partial \varphi}{\partial y} + i \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial x} - i \frac{\partial z}{\partial x}, \quad (5)$$

где  $W = z + i\psi$ ;  $z = y - ix$ .

Далее, рассмотрим интеграл типа Коши [2]:

$$F(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-a}^{+a} \frac{\omega(x_1)}{x_1 - z} dx_1, \quad (6)$$

который имеет свойство при подходе с разных сторон к контуру отрезка принимать следующее значение (формула Сохоцкого):

$$F(z)_+ = \frac{1}{2} \omega(z) + \frac{1}{2\pi i} \int_{-a}^{+a} \frac{\omega(x_1)}{x_1 - z} dx_1, \quad (7)$$

$$F(z)_- = -\frac{1}{2} \omega(z) + \frac{1}{2\pi i} \int_{-a}^{+a} \frac{\omega(x_1)}{x_1 - z} dx_1.$$

Вычтя друг из друга, получим:

$$F(z)_+ - F(z)_- = \omega(z).$$

Поскольку  $F(z) = \frac{dW}{dz}$ , то

$$\frac{dW}{dz_{(+)}} - \frac{dW}{dz_{(-)}} = \frac{\partial \varphi}{\partial y_{(+)}} - \frac{\partial \varphi}{\partial y_{(-)}} = \int \frac{\partial \varphi}{\partial x_{(+)}} + \frac{\partial \varphi}{\partial x_{(-)}} = -2i \frac{\partial \varphi}{\partial x} = -2ic,$$

где  $c = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$ .

Полагая, что  $\omega(x_1) = -2ic$ , согласно формуле Сохоцкого [4] получим:

$$F(z) = \frac{dW}{dz} = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-a}^a \frac{2i}{x_1 - z} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} dx_1 = -\frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{cdx_1}{x_1 - z} = -\frac{c}{\pi} \ln \frac{z-a}{z+a}. \quad (8)$$

После интегрирования будем иметь:

$$W = -\frac{c}{\pi} z \ln \frac{z-a}{z+a} + \frac{ca}{\pi} \ln(z^2 - a^2) + c_1. \quad (9)$$

Для записи решения в безразмерном виде предположим, что

$$c_1 = -\frac{ca}{\pi} \ln a^2. \quad (10)$$

Тогда выражение (9) запишется в виде:

$$W = -\frac{ca}{\pi} z_1 \ln \frac{z_1 - 1}{z_1 + 1} - \frac{ca}{\pi} \ln(z_1^2 - 1), \quad (11)$$

где

$$z_1 = z/a; \quad z = y + ix; \quad W = \varphi + i\psi.$$

Отделив из (5) мнимую часть, получим:

$$\psi = -y_1 \frac{ca}{\pi} \arg \frac{z_1 - 1}{z_1 + 1} - x_1 \frac{ca}{\pi} \ln \left| \frac{z_1 - 1}{z_1 + 1} \right| + \frac{ca}{\pi} \arg(z_1 - 1)(z_1 + 1).$$

После некоторых преобразований выражение (12) примет вид:

$$\psi = -\frac{ca}{\pi} \left[ y_1 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2x_1}{x_1^2 + y_1^2 - 1} + x_1 \ln \sqrt{\frac{(y_1 - 1)^2 + x_1^2}{(y_1 + 1)^2 + x_1^2}} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2x_1 y_1}{x_1^2 - y_1^2 - 1} \right], \quad (13)$$

где  $x_1 = x/a$ ;  $y_1 = y/a$ .

Из уравнения (11) нетрудно получить значения компонентов скорости  $U$  и  $V$ , поскольку  $U = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$  и  $V = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$ . Покажем это, используя уравнение (8).

Имеем, что

$$\frac{dW}{dz} = \frac{\partial \varphi}{\partial y} - i \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (a)$$

где  $\frac{\partial \varphi}{\partial y} = V$ ;  $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = U$ .

С другой стороны, из (8) имеем:

$$\frac{dW'}{dz} = \frac{c}{\pi} \ln \frac{z-a}{z+a}. \quad (6)$$

Приращенная (а) и (6), получим

$$V - iU = -\frac{c}{\pi} \ln \frac{z-a}{z+a}$$

или

$$V = -\frac{c}{\pi} \ln \left| \frac{z-a}{z+a} \right|, \quad U = \frac{c}{\pi} \arg \frac{z-a}{z+a}.$$

Поскольку  $y + ix = z$ , то

$$V = -\frac{c}{\pi} \ln \left| \frac{y-a+ix}{y-a-ix} \right| = -\frac{c}{\pi} \ln \left| \sqrt{\frac{(y-a)^2 + x^2}{(y-a)^2 + x^2}} \right|, \quad (14)$$

$$U = \frac{c}{\pi} \arg \frac{z-a}{z+a} = \frac{c}{\pi} \left( \arctg \frac{a-y}{x} + \arctg \frac{a-y}{x} \right), \quad (15)$$

что полностью соответствует значениям  $U$  и  $V$ , полученным в [2].

Для определения значений функции тока по (13) сначала подсчитывается  $\psi$  для заданных значений  $x$  и  $y$ . По этим данным строятся кривые  $\psi = \psi(x, y)$ , а затем для выбранных постоянных значений  $x_1 = \text{const}$  и  $y = 1, 2, \dots$  определяется  $\psi$ . По данным значениям  $\psi = \text{const}$  строятся графики функции тока.

Нами в лабораторных условиях специально не проверена эта зависимость для чистой воды, т. е. проверка аналогичных зависимостей, выполненная Санояном В. Г. [5], Вознесенским Н. А. [6] и другими, дала хорошее согласование с опытом.

Целью наших лабораторных исследований являлось определение максимального веса эвакуируемой частицы сифоном при заданном значении  $H$  и, в частности, связь между весом частицы и предельными величинами горизонтальной и вертикальной зон очистки в зависимости от напора сифонного подсоса и предельной высоты подъема частицы со дна.

Результаты математической обработки этих экспериментов приведены в [1] в виде зависимостей:

$$G_{H,L} = 80 \left( \frac{H_c h}{10 + 0,289 \frac{H_c}{h} L^{0,19}} \right)^3; \quad (16)$$

$$G_H = 80 \left( \frac{H_c}{10h} \right)^3, \quad (17)$$

где  $G_{H,L}$  — вес зерна наноса, поднятого на высоту  $h$  и залосанного с расстояния  $L$ ,

$G_{II}$  — вес поднимаемого со дна на высоту  $h$  зерна наноса, и  $1\rho$ ;

$H_1$  — разность уровней бьефов, в см;

$h$  — высота подъема зерна сифоном, и см.

При натурных испытаниях щитов-сифонов, установленных в вододелительных узлах магистрального канала (рис. 3), были зафиксиро-

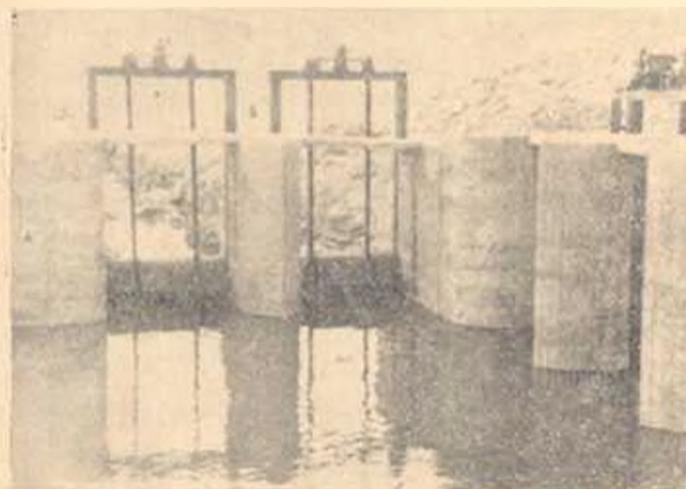


Рис. 3.

ваны несколько случаев не включения щитов-сифонов в работу при подъеме уровня воды в верхнем бьефе. Проверка причин не включения показала, что сифоны не заряжались в тех узлах, где выходы сифонов оказались затопленными до работы. Из-за одновременного подъема уровня воды в верхнем и нижнем бьефах воздух, находящийся в сифонной трубе, сильно сжимается и поднимается давление внутри сифона, что препятствует переливу воды через водосливную кромку, задерживая включение сифона. Для восстановления нормального давления внутри сифона на его капоте просверлили воздуховыпускные отверстия диаметром 2—3 мм. В результате такого простого мероприятия все сифоны безотказно включаются в работу. В связи с небольшой площадью этого отверстия и сравнении с сечением сифонной трубы не удалось фиксировать изменение значения коэффициента расхода сифонного водосброса из-за засоса воздуха через это отверстие.

Возможные значения средней скорости движения жидкости, возникающей у входного сечения нанососбросного щита-сифона при различных значениях  $H_1$  и  $\zeta_1$ , приведены в табл. 1, где  $H_1$  — напор сифона, определяемый по выражению

$$H_1 = H_2 - H_3 - \frac{\lambda V_{ср}^2}{2g};$$

$\zeta_1$  — суммарный коэффициент скорости, определяемый по известным зависимостям для затопленного и свободного истечения.

Таблица 1

$Re$	Средние скорости в сифонной трубе (м/сек) при напорах $H_1$ (м)							
	1	2	3	4	5	6	7	10
0,9	4,0	5,7	7,0	8,0	8,9	9,8	10,6	12,7
0,8	3,5	5,0	6,1	7,1	7,9	8,7	9,4	11,2
0,7	3,1	4,4	5,4	6,2	6,9	7,6	8,2	9,8
0,6	2,7	3,8	4,6	5,3	6,0	6,5	7,0	8,4
0,5	2,2	3,1	3,9	4,4	5,0	5,4	5,9	7,0

Как видно из приведенных данных, у входа в сифон и внутри него развиваются такие скорости, которые могут засасывать и эвакуировать донные наносы, осевшие перед входным сечением сифонного водосброса. Одновременно отметим, что если входные скорости окажутся недостаточными для захвата наносов из-за малости напора, можно уменьшить входное сечение сифона, тем самым увеличив скорость во входном сечении и перед сифоном. В результате этого мероприятия можно увеличить зону эвакуации и вес эвакуируемых наносов.

Ерванский политехнический институт  
им. К. Маркса

Поступило 14.X.1969.

Գ. Ա. ԱՄԲԱՐՇՈՒՄՅԱՆ

ՋԵՐԵՐՈՒԿԱԹՍԱԳ ԳԱՀԱՆ-ՈՒՅՈՒՆԻ ՀԱՇՎԱՐԳԻ ՇՈՒՐՁԸ

Ս. մ. փ. ո. փ. ո. չ. մ.

Հոդվածում քննարկվում է սիֆոնային ջրանետի մուտքի առջև տրադու-  
բյունների դաշտի որոշման շարքը: Օգտագործելով կոմպլեքս փոփոխական-  
ների ֆունկցիաների մեթոդը, որոշված են տրադուբյան կոմպոնենտների  
մուտքի առջև Ցույց է տրված ստացված և Ֆուրյեի ինտեգրալի օգտագործ-  
մամբ ստացվող արդյունքների համանմանությունը:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амбарцумян Г. А. Экспериментальные исследования нанососброенного щита-сифона. Труды АрмНИИВПиГ, т. 1 (VI), Ереван, 1967.
2. Амбарцумян Г. А. Нанососброенный щит-сифон. Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.), т. XVI, № 4, 1963.
3. Титчмири Е. Введение в теорию интегралов Фурье. ГНТИ, 1943.
4. Лаврентьев М. В., Шабат Б. В. Методы теории функции комплексного переменного. 1958.
5. Саноян В. Г. Способ профилирования диффузоров по заданной элюре скоростей на входе. Известия АН Арм. ССР. Серия физ.-мат., естеств. и техн. наук, т. IX, № 7, 1957.
6. Вязнесенский Н. А. Деление потока в камерах отстойника с донными промышленными галереями. Труды ВНИИГум, т. XXVIII, 1958.