

622.5.52

ДВИЖЕНИЕ ШАХТНОЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ ВОДОСБОРНИКОВ

Малеев В.Б., канд. тех. наук, доц.,
Донецкий государственный технический университет

Установлено влияние плотности твердого и температуры шахтной воды на процесс осаждения частиц шлама в предварительном отстойнике.

Influencing density firm and temperature of mine water on a precipitation process of fragments of slime in a preliminary sump is established.

Изучению особенностей работы предварительных отстойников посвящено множество работ отечественных и зарубежных исследователей [1-5]. Однако, как показывает анализ состояния вопроса, картина течения в них изучена пока не достаточно, что является одним из препятствий широкого распространения их на практике. Появление в последние годы прогрессивных технологических схем водоотливных установок [6,7], в которых роль отстойников заметно возрастает, обусловило необходимость дальнейшего, более полного изучения процесса осаждения в них. Предлагаемый вариант схемы водоотливной установки также включает в себя отстойник или отстойную зону как обязательный элемент.

В связи с этим, возникает необходимость рассмотреть данный вопрос в работе. При этом прежде всего представляет интерес изучение влияния на процесс осаждения твердых частиц таких важных эксплуатационных факторов, как плотность твердого и температура очищаемой жидкости. Следует отметить, что в известных расчетных методиках [2] обычно упускают из виду, что вязкость жидкости, несомненно оказывающее свое влияние на процесс осаждения, изменяет свое значение в зависимости от температуры последней. Температура жидкости зависит в свою очередь от глубины разработки, климатических особенностей географического района и сезона. В упомянутых методиках используется коэффициент вязкости воды, соответствующий температуре 15°C, что чаще всего не соответствует действительности - например, на глубоких горизонтах шахт она может возрастать до 30°C и выше. Кроме того, в названных выше работах недостаточно конкретным является и учет плотности твердого.

В то же время, обычно принимаемая во внимание вертикальная взвешивающая скорость турбулентного потока в современных конструкциях отстойников, в том числе и в предлагаемой, может не учитываться, благодаря возможности резкого снижения скорости горизонтального перемещения потока.

Рассмотрим процесс осаждения твердого для наиболее распространенного варианта отстойника, когда транзитный поток осветляемой воды проходит под ним со скоростью \vec{V}_0 (рис. 1).

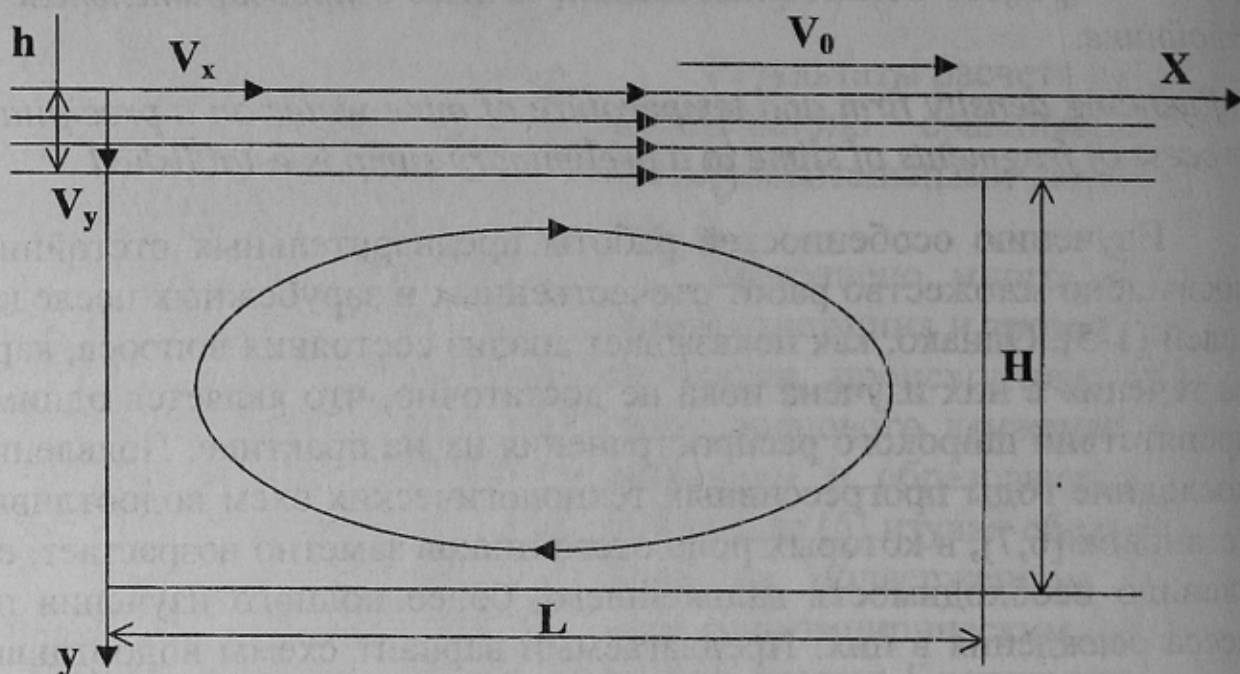


Рис. 1 - Схема движения потока шахтной воды в предварительном отстойнике

При этом расчетным (наиболее неблагоприятным для осаждения) является случай, когда частица твердого, принимаемая для упрощения шарообразной формы, вносится транзитным потоком в поверхностном слое его. Перемещаясь над отстойником параллельно вектору скорости \vec{V}_0 потока вдоль оси X, частица под действием сил тяжести \vec{G} , Архимеда \vec{F}_A , сопротивления \vec{R} со стороны потока одновременно совершает движение в вертикальном направлении вдоль оси Y. (Суммарное движение можно рассматривать как векторную сумму двух простых, спроектировав векторы перемещения, скорости, ускорения и сил на оси X и Y декартовой системы координат, расположенной в плоскости движения частицы. При этом считаем, что частица начинает свое движение из точки начала координат (рис. 1). Для улавливания частица должна успеть преодолеть расстояние по вертикали, равное толщине h проточного слоя, не выйдя за пределы отстойника. Иными словами, время, затрачиваемое частицей на пере-

мещение по вертикали за пределы транзитного слоя, должно быть не больше времени перемещения частицы вдоль оси отстойника по горизонтали на расстояние, равное длине последнего L .

С целью упрощения принимаем следующее положение: вдоль горизонтальной прямой частица перемещается с постоянной скоростью V_x , равной скорости транзитного потока V_0 .

Составим в соответствии со вторым законом Ньютона дифференциальное уравнение для проекций сил на вертикальную ось Y , направленную от поверхностного слоя транзитного потока к днищу отстойника

$$m \frac{dV_y}{dt} = G - F_A - R_y \quad (1)$$

где m - масса частицы, имеющей условно шарообразную форму, кг.

Величина последней определяется с помощью выражения

$$m = \frac{\pi}{6} \delta_0^3 \rho_T \quad (2)$$

где: δ_0 - диаметр частицы, м; ρ_T - плотность твердого, кг/м^3 ; G - сила тяжести, действующая на частицу, Н,

$$G = \frac{\pi}{6} \delta_0^3 \rho_T g \quad (3)$$

где g - ускорение свободного падения, $g=9,81 \text{ м/с}^2$, F_A - сила Архимеда, Н,

$$F_A = \frac{\pi}{6} \delta_0^3 \rho g \quad (4)$$

где ρ - плотность жидкости, для воды $\rho \approx 1050 \text{ кг/м}^3$, R_y - проекция силы лобового сопротивления на ось Y , Н,

$$R_y = C_y \frac{\pi \delta_0^2}{4} \cdot \frac{\rho V_y^2}{2} \quad (5)$$

где C_y - коэффициент лобового сопротивления по вертикали, определяемый по экспериментальной зависимости от числа Рейнольдса Re [8].

Для значений $Re \in [10^{-2}; 10^2]$, а в нашем случае Re находится в этой области, зависимость $C_y=f(Re)$ можно приближенно представить в виде линейной функции и определять коэффициент лобового сопротивления по формуле

$$C_y \approx 2 + 24/Re \quad (6)$$

где значение Re определится по формуле

$$Re = \frac{\delta_0 V_y}{\nu}, \quad (7)$$

Здесь ν - кинематическая вязкость, m^2/s , определяемая по эмпирической формуле Пуазейля в зависимости от температуры жидкости $t, ^\circ C$:

$$\nu = \frac{1,775 \cdot 10^{-6}}{1 + 3,37 \cdot 10^{-2} t + 2,21 \cdot 10^{-4} t^2} \quad (8)$$

V_y - проекция скорости частицы на ось Y , m/s .

Подставляя формулы (2), (3), (4), (5), (6) и (7) в уравнение (1), находим:

$$\rho_T \frac{\pi \delta_0^3}{6} \cdot \frac{dV_y}{dt} = \frac{\pi \delta_0^3}{6} \rho_T g - \frac{\pi \delta_0^3}{6} \rho g - \frac{\pi \delta_0^2}{4} \cdot \frac{\rho V_y^2}{2} \left(2 + \frac{24\nu}{V_y \delta_0} \right),$$

и в результате преобразований получаем

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{3\rho}{2\rho_T \delta_0} \left[\frac{2(\rho_T - \rho)g\delta_0^3 + 108\rho\nu^2}{3\rho\delta_0^2} - \left(V_y + \frac{G\nu}{\delta_0} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Введем для упрощения следующие обозначения:

$$a = \frac{3\rho}{2\rho_T \delta_0} \quad (10)$$

$$b = \sqrt{\frac{2(\rho_T - \rho)g\delta_0^3 + 108\rho\nu^2}{3\rho\delta_0^2}} \quad (11)$$

$$d = \frac{G\nu}{\delta_0} \quad (12)$$

Уравнение (9) с учетом формул (10), (11), (12) можно записать следующим образом:

$$\frac{dV_y}{dt} = a \left[b^2 - (V_y + d)^2 \right]$$

или

$$\frac{d(V_y + d)}{b^2 - (V_y + d)} = a dt \quad (13)$$

Интегрируя (13), получим:

$$-\frac{1}{2b} \ln \left| \frac{V_y + d - b}{V_y + d + b} \right| = at + \ln C_1$$

или после преобразований:

$$V_y = \frac{(d+b)e^{-2abt}C'_1 - (d-b)}{1 - e^{-2abt}C'_1} \quad (14)$$

где $C'_1 = C_1^{-2b}$ - постоянная интегрирования, значение которой находится из условия: при $t=0$ скорость $V_y=0$:

$$C'_1 = \frac{d-b}{d+b} \quad (15)$$

Подставляя уравнение (15) в (14), получим:

$$V_y = \frac{(d^2 - b^2)(e^{-2abt} - 1)}{(d+b) - e^{-2abt}(d-b)} \quad (16)$$

Введем для упрощения следующие обозначения:

$$k = b - d \quad (17)$$

$$n = b + d \quad (18)$$

$$p = n / k \quad (19)$$

После подстановки формул (17), (16) и (19) и некоторых преобразований уравнение (16) примет следующий вид:

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \frac{n(1 - e^{-2abt})}{p + e^{-2abt}} \quad (20)$$

где y - координата частицы по оси Y .

Решая дифференциальное уравнение (20), с учетом того, что для осаждения частица преодолевает путь по оси Y , равный h , за время T , с, получаем:

$$\frac{2abh}{n} = \ln \left[(pe^{2abT} + 1)^{1/p} \cdot (e^{-2abT} + p) \right] - \ln(p+1)^{\frac{1-p}{p}} \quad (21)$$

В реальных условиях будет соблюдаться неравенство: $p \cdot e^{2abT} \gg 1$, поэтому, с достаточной точностью, уравнение (21) можно упростить:

$$\frac{2abh}{n} = \ln \left[(pe^{2abT})^{1/p} \right] + \ln p - \ln(p+1)^{\frac{1-p}{p}}$$

или, после преобразований

$$\frac{2abh}{n} = \frac{2abT}{p} + \ln \frac{p^{\frac{1+p}{p}}}{(p+1)^{\frac{1-p}{p}}} \quad (22)$$

С учетом условия $V_x = V_0$ и уравнения неразрывности для несжимаемой жидкости, получаем:

$$T = \frac{L}{V_0} \quad (23)$$

$$h = \frac{Q}{3600BV} \quad (24)$$

где L - длина отстойника, м, Q - часовой приток воды в шахте, м³/ч; B - ширина отстойника, м.

Подставляя выражения (23) и (24) в уравнение (22) и разрешая его относительно L , получим:

$$L = \frac{pQ}{3600nB} + \frac{V_0}{2ab} \ln \frac{(p+1)^{1-p}}{p^{1+p}} \quad (25)$$

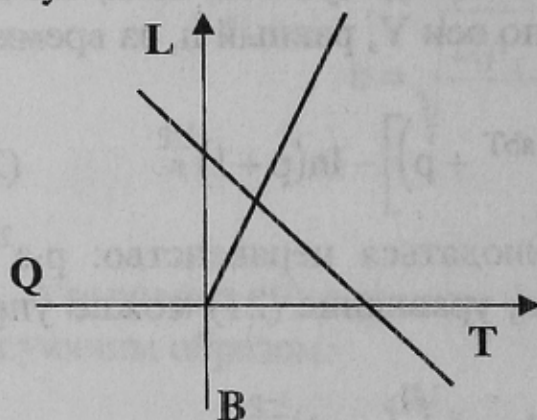
Сопоставление слагаемых выражения (25) между собой показывает, что в реальных условиях выполняется соотношение

$$\frac{pQ}{3600nB} \gg \frac{V_0}{2ab} \ln \frac{(p+1)^{1-p}}{p^{1+p}},$$

поэтому можно пользоваться следующим приближенным выражением для вычисления длины отстойника:

$$L = \frac{Q}{3600kB} \quad (26)$$

На основе использования выражения (26) для различных сочетаний ρ_T , β , Q и $t^\circ C$ для случая $\delta_0 = 10^{-4}$ м (0,1 мм) и $\rho = 1020$ кг/м³ могут быть вычислены значения длины отстойника L . Расчеты пока-



зывают, что повышение температуры от 15° С до 30° С приводит к уменьшению требуемой длины отстойника примерно в 1,35...1,4 раза. Изменение плотности оказывает не менее существенное влияние. Так, увеличение плотности от 2400 до 2800 кг/м³ уменьшает L более, чем на 26%.

Таким образом, в результате выполненного анализа удалось установить степень влияния плотности твердого и температуры очищаемой жидкости на процесс осаждение в предварительном отстойнике. Формула (36) может быть использована для инженерных расчетов. При этом не требуется никакой дополнительной информации, кроме той, которая всегда достоверно известна для проектируемых и находящихся в эксплуатации водоотливных установок. Расчет легко алгоритмируется, что дает

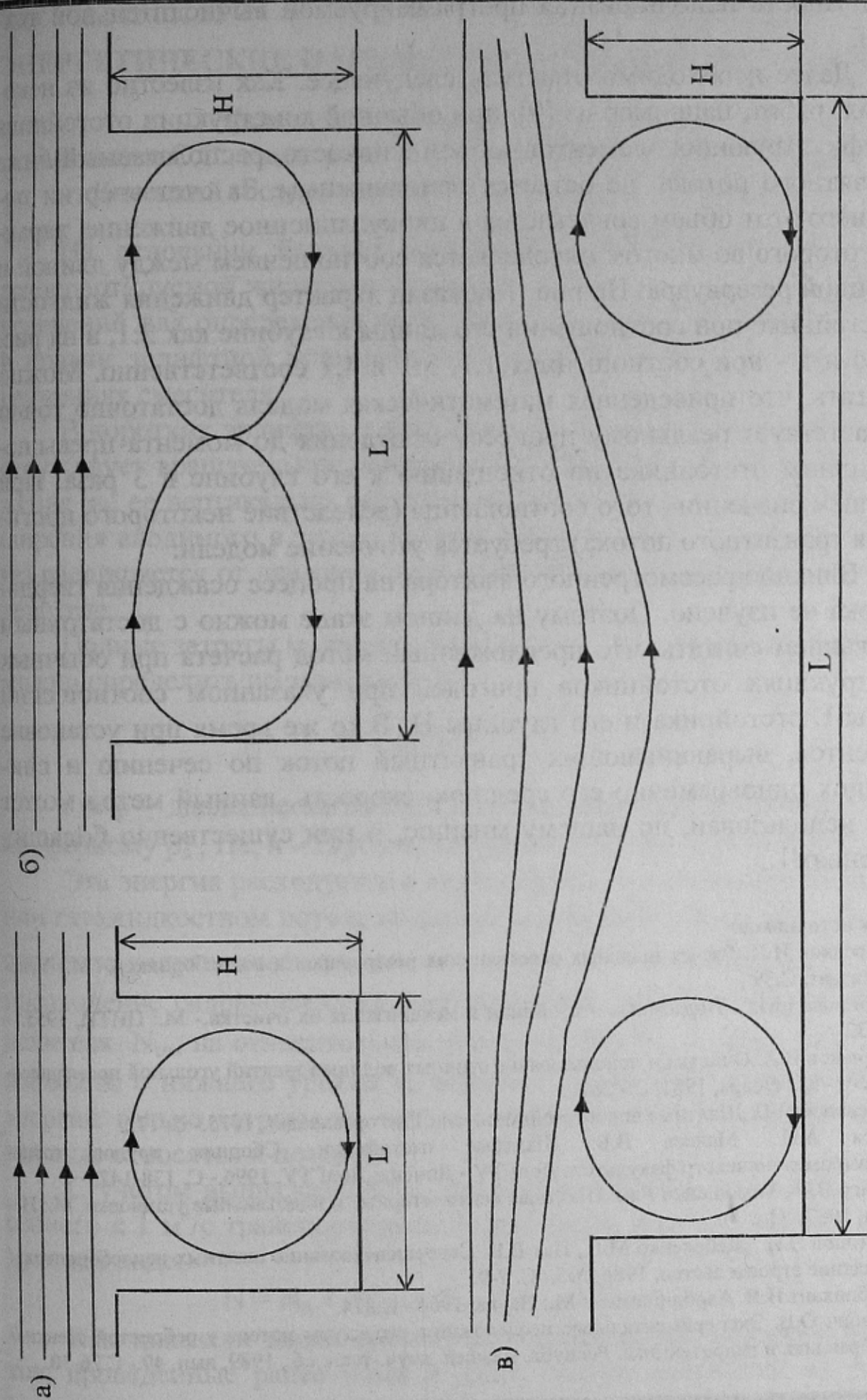


Рисунок 2 - Характер течения воды в отстойнике при различных соотношениях $L:H$

возможность использования программируемой вычислительной техники.

Далее необходимо отметить следующее. Как известно из некоторых работ, например из [9], при обычной конструкции отстойника (без фильтрующих элементов) объем жидкости, располагаемый ниже транзитного потока, не остается неподвижным. За счет энергии последнего этот объем вовлекается в циркуляционное движение, характер которого во многом определяется соотношением между длиной и глубиной резервуара. На рис. 1 показан характер движения жидкости в отстойнике при соотношении его длины к глубине как 2:1, а на рис. 2 а, б и в - при соотношениях 1:1, 3:1 и 4:1 соответственно. Можно полагать, что приведенная математическая модель достаточно точно соответствует реальному процессу осаждения до момента превышения длины отстойника по отношению к его глубине в 3 раза. При большем значении этого соотношения (вследствие некоторого прогибания транзитного потока) требуется уточнение модели.

Влияние рассмотренного фактора на процесс осаждения твердого пока не изучено. Поэтому на данном этапе можно с достаточным основанием считать, что предложенный метод расчета при обычных конструкциях отстойников пригоден при указанном соотношении длины L отстойника и его глубины H . В то же время при установке элементов, выравнивающих транзитный поток по сечению и снижающих одновременно его среднюю скорость, данный метод может быть использован, по нашему мнению, и при существенно больших значениях L .

Список источников.

1. Куренков И.И. Расчет шахтных осветляющих резервуаров и водосборников.- М.: Углетехиздат. С.39.
2. Рабинович М.С. Подземные отстойники и механизация их очистки.- М.: ЦИТИ, 1955. - С. 32.
3. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности.- М.: Недра, 1981, С.- 269.
4. Сосновский П. Шахтные водоотстойники.- М.: Госгортехиздат, 1975.- С. 172.
5. Заря А.Н., Малеев В.Б. Шахтные отстойники. Сборник трудов горно-електромеханического факультета ДонГТУ.- Донецк: ДонГТУ, 1996.- С. 138-142.
6. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водотливные установки. М.: Недра, 1987.- С. 270.
7. Антонов Э.И., Жебеленко М.Г., Пак В.В. Совершенствование шахтных водосборников. / Шахтное строительство, 1986, №5.- С. 7-9.
8. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. М.: Наука, 1964.- С.814.
9. Товбич О.В. Экспериментальные исследования структуры потока у ребристой стенки.// Гидравлика и гидротехника. Республ. межвед. науч.-техн. сб., 1989, вып. 49.- С.26-30.