

## Лабораторная работа № 1

### Определение расхода воды (пульпы) через водослив.

В большинстве обогащательных машин с мокрым процессом разделения используются водосливы для подачи пульпы обогащаемого материала и отвода продуктов сепарации. Водосливами снабжены тяжелосредные и магнитные сепараторы, отсадочные машины, радиальные сгустители, флотационные машины и т. д.

Водослив представляет собой стенку, через которую перетекает пульпа или вода. Если толщина стенки  $L \leq 2h/3$ , где  $h$  – превышение уровня пульпы в ванне обогащательной машины над верхней кромкой стенки, то такая стенка называется тонкой (рис. 1). В дальнейшем будут рассматриваться водосливы только с тонкими стенками. Зная значение  $h$  можно определить расход (производительность), с которой пульпа перетекает через стенку водослива.

Расход  $W$  пульпы или воды (в дальнейшем – жидкости) через водослив определяются по уравнению

$$W = mb \sqrt{2g} H^{1.5}, \quad (1)$$

где

$$H = h + \alpha U_0^2 / 2g, \quad (2)$$

$U_0$  – скорость подхода жидкости к водосливу,

$m$  – коэффициент расхода водослива.

$$m = 2\mu/3.$$

$$\mu = \varepsilon\varphi,$$

$\varepsilon$  – коэффициент сжатия.  $\varepsilon = 0.8b/B$ , где  $b$ ,  $B$  – ширина водослива и ширина подходящего к водосливу потока соответственно.

$\varphi$  – коэффициент скорости (для малых круглых отверстий и воды  $\varphi = 0,97$ ).

### Цель работы

Определить скорость подхода воды к водосливу и расход воды через водослив отсадочной машины.

### Установка, на которой проводятся исследования

Исследования проводятся на лабораторной отсадочной машине.

Вода в отсадочную машину подается под рабочую поверхность, проходит сквозь искусственную постель, равномерно распределяется в надрешетном пространстве, движется вдоль отсадочной машины и переливается через порог (водослив). Расход воды регулируется вентилем на общем трубопроводе.

Сделать эскиз установки.

## Порядок проведения работы

Сделать эскиз отсадочной машины. Произвести замер ширины водослива и ширины подходящего к потоку русла (проточная часть отсадочной машины).

Расход воды через водослив отсадочной машины осуществляется при оставленных подвижных конусах.

Для изучения гидродинамических характеристик водослива отсадочной машины задается несколько (4 - 5) расходов воды. Каждый опыт (при одном и том же расходе) повторяется 3 раза.

При заданной производительности определяют все входящие в уравнение (1) параметры и рассчитывают расход воды через водослив. Скорость  $U_0$  принимают при этом равной нулю.

Для проверки полученного результата воды через водослив определяют еще двумя методами.

Первый метод. Он общеизвестен и заключается в замере объема воды, перетекающей через водослив за любой выбранный промежуток времени. Частное от деления объема на время и будет искомой производительностью  $W_{p1}$ . Применить такой способ измерения в промышленности далеко не всегда возможно. В связи с этим в данной работе производится измерение еще одним методом.

Второй метод. Определяют среднюю скорость потока  $U$ . Для этого со стороны загрузки исходного продукта отсадочной машины на поверхность воды бросается маленький листок бумаги. Секундомером фиксируется время прохождения бумажкой заданного расстояния. Скорость, определенная делением расстояния на время, является максимальной скоростью  $U_{max}$ , которая имеет место на поверхности потока. Средняя скорость потока

$$U = 2U_{max}/3. \quad (3)$$

Такая зависимость имеет место только при ламинарном течении воды. Поэтому необходимо определить число Рейнольдса по уравнению

$$Re = U S/\nu, \quad (4)$$

где  $S$  — площадь поперечного сечения потока,  $\nu$  — кинематическая вязкость жидкости. Для воды  $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Зная среднюю скорость и сечение потока определяют его производительность как

$$W_{p2} = US.$$

Превышение уровня пульпы в ванне обогатительной машины над верхней кромкой стенки водослива (геометрический напор)  $h$  измеряется до заметного спада свободной поверхности, т.е. превышение над гребнем водосливной стенки горизонта воды. В отсадочной машине геометрический напор  $h$  можно представить в виде разности между полной глубиной (от поверхности воды до искусственной постели) и высотой стенки водослива.

## Порядок обработки результатов опытов

Результаты расчетов и измерений заносится в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчетов и измерений расходов воды через водослив отсадочной машины

№ опыта	h, м	H, м	U <sub>0</sub> , м/с	U <sub>v</sub> , м/с	W, м <sup>3</sup> /ч	W <sub>p1</sub> , м <sup>3</sup> /ч	W <sub>p2</sub> , м <sup>3</sup> /ч	m	Re
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

Определить, необходимо ли учитывать в уравнении (1) скорость подхода жидкости к водосливу U<sub>0</sub>.

Построить зависимость h и U от W.

На основании полученных результатов сделать выводы.

# ИСТЕЧЕНИЕ В АТМОСФЕРУ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПОРЕ ЧЕРЕЗ МАЛЫЕ ОТВЕРСТИЯ В ТОНКОЙ СТЕНКЕ.

**Цель работы:** изучение характеристик истечения жидкости из малых отверстий в тонких стенках; экспериментальное определение скорости истечения воды из малого отверстия.

Отверстие считается *малым* тогда, когда в поперечном сечении струи после выхода из отверстия (в сжатом сечении) можно считать скорости во всех точках сечения равными между собой. В противном случае сечение будет большим. Малому отверстию круглой формы отвечает условие:  $d < 0,1H$ .

*Тонкая стенка* — когда отверстие имеет острую кромку и стенка не влияет на форму струи (не соприкасается с ней). В противном случае стенка считается толстой. Через отверстие в толстой стенке жидкость течет как бы в короткой трубе.

Рассмотрим истечение жидкости из резервуара большой емкости через круглое отверстие с острой кромкой при постоянном напоре  $H$  (рис.). На выходе струи из отверстия форма поперечного сечения уменьшается. В результате подтекания жидкости к отверстию со всех сторон происходит уменьшение площади поперечного сечения. Это называется сжатием струи, а площадь поперечного сечения в плоскости  $n-n$  — площадью живого сечения  $\omega_c$ . Оно расположено (для круглого отверстия) на расстоянии около  $0,5d$ . Отношение  $\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}$  называется коэффициентом сжатия.

По данным опыта, диаметр струи в сжатом сечении  $d_c \approx 0,8d$ , поэтому коэффициент сжатия

$$\varepsilon \approx \frac{\omega_c}{\omega} \approx \left(\frac{d_c}{d}\right)^2 \approx \left(\frac{0,8d}{d}\right)^2 \approx 0,64. \quad (1)$$

скорость истечения из резервуара определяется как скорость в сжатом сечении.

$$v = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (2)$$

Коэффициент  $\varphi$  называется коэффициентом скорости. Для малых круглых отверстий при больших числах  $Re$  по опытным данным (для воды)  $\varphi = 0,97$ , то есть, близок к единице.

*Расход* определяется по формуле

$$Q = \omega v. \quad (3)$$

В данном случае целесообразно воспользоваться сжатым сечением, для которого  $Q = \omega_c v_c$ . Площадь  $\omega_c = \varepsilon \omega$ , где  $\omega$  — площадь отверстия, а средняя скорость определяется по формуле

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (4)$$

тогда расход

$$Q = \omega_c v_c = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH} = \varepsilon \omega \varphi \sqrt{2gH}. \quad (5)$$

Объединив коэффициенты  $\varepsilon$  и  $\varphi$  произведением, равным  $\mu = \varepsilon\varphi$ , расход определим по формуле  $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$ . (6)

Коэффициент  $\mu$  называется *коэффициентом расхода*. При  $\varepsilon = 0,64$  и  $\varphi = 0,97$   $\mu = \varepsilon\varphi = 0,64 \cdot 0,97 = 0,62$ .

Определение скорости истечения по дальности полета струи. При небольших скоростях  $v$  и небольших высотах падения  $\Delta z$  можно пренебречь сопротивлением окружающего струю воздуха и принять форму струи параболической, получим

$$l = v_l \Delta t, \quad (7)$$

где  $\Delta t$  – время полета струи, при  $\Delta z = \frac{g\Delta t^2}{2}$ , (8)

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2\Delta z}{g}}. \quad (9)$$

$$\text{Отсюда } v_l = \frac{l}{\Delta t} = l \sqrt{\frac{g}{2\Delta z}} \quad (10).$$

Расход определяется по формуле (3)

для сжатого сечения при  $\omega_c = \varepsilon\omega$ .

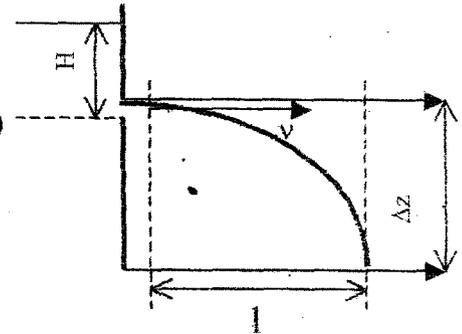


Рис. 1. Схема истечения жидкости через отверстие в тонкой стенке.

**Приборы и материалы:** сосуд с калиброванными отверстиями, линейка, мерный стакан, штатив, секундомер.

### Методика выполнения работы.

В сосуд с калиброванным отверстием подается вода и обеспечивается её определенный постоянный уровень  $H$  путем установления баланса между истечением и подачей воды. После этого:

- объемным методом определяется расход воды  $Q_{\text{экс}}$  через калиброванное отверстие и определяется экспериментальное значение скорости истечения воды в сжатом сечении  $v_{c \text{ экс}}$ .
- Скорость истечения  $v_l$  и расход  $Q_l$  по дальности полета струи определяется по формулам (10) и (3).
- По формуле (2) рассчитывается теоретическая скорость истечения воды из резервуара  $v_{c \text{ теор}}$  по формуле (6) – теоретический расход  $Q_{\text{теор}}$ . Затем аналогичные исследования проводятся при другом значении  $H$ .

Экспериментальные и расчетные данные заносятся в таблицу, на основании которой строятся графические зависимости:  $Q_{\text{экс}}, v_l, Q_l, v_{c \text{ теор}}, Q_{\text{теор}} = f(H)$  и определяется относительная ошибка эксперимента.



## Исследование водного потока винтового сепаратора

Винтовые сепараторы широко применяются при обогащении минеральных песков и других руд. Одним из их главных достоинств является простота конструкции. В тоже время они имеют сложную кинематику движения пульпы.

Важной особенностью винтового сепаратора является циркуляция пульпы в поперечном сечении потока. Причина возникновения этой циркуляции заключается в следующем. Каждая частица потока, двигающегося по винтовому желобу, подвержена действию центробежной силы. Под ее воздействием все частицы пульпы, расположенные вблизи оси винтового желоба, стремятся двигаться к его периферии (рис ). Придонные слои пульпы испытывают большее сопротивление движению, чем расположенные у поверхности, в результате трения о днище желоба. Создается неравенство сил, из-за которого поверхностные слои пульпы движутся вверх к периферии до точки равновесия, вытесняя придонные слои вниз к оси желоба. Зерна обогащаемого материала, имеющие большую плотность, находятся преимущественно в придонных слоях и постепенно сгоняются вниз нисходящим течением циркулирующего потока.

Экспериментальное определение параметров циркуляционного течения представляет большие трудности. Упоминание о существовании циркуляции сделано тут только с целью обратить внимание на сложность процессов, протекающих в воде, даже без учета движения в ней разделяемых зерен. В настоящей лабораторной работе предусмотрено исследование только осредненных характеристик потока, двигающегося по винтовому желобу. Исследования производятся с использованием воды в качестве жидкой среды.

Средняя скорость течения всего потока воды вдоль желоба

$$V_{cp} = \frac{1}{\pi} R_h^{2/3} \sqrt{\sin \alpha}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - средний угол наклона винтовой линии желоба, град;  $R_h$  - гидравлический радиус сечения потока, м;  $\pi$  - коэффициент, определяемый по справочникам из таблиц для коэффициента Шези.

$$\sin \alpha \approx \frac{t}{2\pi R},$$

где  $t$  - шаг желобов (витков) по вертикали, м.

Скорость циркуляционного течения в 3 - 5 раз меньше средней скорости потока вдоль желоба.

Средняя скорость потока воды на заданном расстоянии  $R$  от оси винтового желоба в зоне турбулентного течения

$$V_t = \sqrt{Rg \sin \beta}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

$$R_R = \frac{S_{\text{потока}}}{P_{\text{смот.}}}$$

где  $\beta$  - угол наклона касательной к горизонту, проведенной через точку профиля поперечного сечения желоба, град.

Глубина потока на этом же расстоянии  $R$  от оси винтового желоба

$$h_t = \frac{Rg \cdot \operatorname{tg}\beta}{C^2 \operatorname{Sin}\alpha}, \text{ мм}; \quad (3)$$

$C$  - коэффициент Шези,  $\text{мм}^{1/2}/\text{с}$ .

$$C = R^{1/6} / \pi.$$

Вблизи оси винтового желоба вода движется тонким слоем, поэтому ее течение осуществляется в ламинарном режиме. Скорость ее течения в этой области описывается уравнением

$$V_L = \frac{gh_L^2 \operatorname{Sin}\alpha}{3\mu}, \quad (4)$$

$h_L$  - глубина воды, двигающейся в ламинарном режиме.

$$h_L = \sqrt{\frac{3\mu \sqrt{Rg \cdot \operatorname{tg}\beta}}{g \operatorname{Sin}\alpha}}, \text{ мм}, \quad (5)$$

где  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости,  $\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$ .

### Цель работы

Исследования осуществляются с целью определения скорости течения воды и глубины потока при заданной производительности.

### Используемое оборудование

Исследования осуществляются на трехвитковом сепараторе. Вода подается шлангом от общего трубопровода и ее расход регулируется вентилем. Замер производительности осуществляется с помощью мерной емкости и секундомера. Замер глубины потока производят с помощью линейки.

Сделать эскиз сепаратора.

### Порядок проведения работы

1. На листе бумаги сделать отпечаток профиля желоба. Расположив его в рабочем положении (отпечаток внешнего борта должен быть ориентирован вертикально) разделить смоченный периметр на 4 равных участка. Участок, расположенный ближе к оси симметрии сепаратора, является зоной ламинарного течения воды, три остальные - турбулентного. Определить длину каждого участка.

2. Отметить границы участков на днище желоба сепаратора.

3. Установить требуемый расход воды. Определение расхода производить с помощью мерной емкости и секундомера.

4. Рассчитать скорость течения воды, глубину потока и его производительность на каждом участке.

5. Построить на одном графике зависимости замеренной и рассчитанной глубины потока от координаты по дуге желоба. Там же отложить в процентах отклонение рассчитанной производительности от замеренной. Началом координат является ось симметрии сепаратора.

6. Определить рассчитанную производительность сложив рассчитанные производительности всех участков. Определить ее расхождение в процентах с производительностью  $Q_3$ , определенной экспериментально.

7. Определить расчетную производительность как  $Q_p = S_p \times V_{ср}$ , где  $S_p$  – сумма площадей всех участков потока.

Результаты измерений оформить в виде таблицы.

$Q_3$ , м <sup>3</sup> /ч	Параметры участка, мм		Параметры течения на участке		$Q_p$ , м <sup>3</sup> /ч		$S_p$ , м <sup>2</sup>	$V_{ср}$ , м/с
	ширина	глубина	скорость, м/с	производительность, м <sup>3</sup> /ч	по п.6	по п.7		

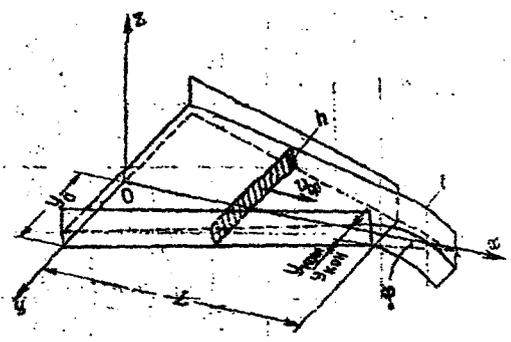
Сделать вывод о полученных закономерностях и сходимости расчетных и экспериментальных данных.

# ПОТОКА ЖИДКОСТИ В СУЖИВАЮЩЕМСЯ ЖЕЛОБЕ

*исследования*

**Цель работы:** изучение гидродинамических параметров потоков жидкости при их течении по суживающемуся желобу, экспериментальное определение зависимости глубины потока от параметров желоба и расхода жидкости.

Аппарат представляет собой суживающийся к нижнему концу желоб, наклоненный под углом  $15-20^{\circ}$  к горизонтальной плоскости. Суживающийся конец аппарата заканчивается закруглением. Аппарат снабжен питающим устройством для равномерного распределения пульпы и рассекателями, позволяющими отделять разделившиеся продукты и направлять их в соответствующие приемники.



Результаты экспериментов показывают, что средняя по сечению скорость потока увеличивается от загрузочного к разгрузочному концу и уменьшается с уменьшением расхода потока. Средняя скорость изменяется пропорционально  $R^{2/3}$  (гидравлический радиус) или приблизительно  $h^{2/3}$  (глубина потока). Таким образом имеет место следующее приближенное равенство:

$$v_{cp} = \rho h^{2/3} \quad (1)$$

Принимая в соответствии с экспериментальными данными

$$\rho \approx \rho_1 \sqrt[3]{Q} \quad (2) \quad \text{и используя равенство,}$$

$$Q = 2y h v_{cp} \quad (3) \quad \text{получим:}$$

$$v_{cp} = \left( \frac{Q \rho_1^{1.5}}{2y} \right)^{0.4} \quad (4) \quad \text{Коэффициент } \rho \text{ (соответственно } \rho_1) \text{ зависит от } \sin \alpha \text{ и в}$$

соответствии с (2) и (3)  $v_{cp} \approx (\sin \alpha)^{0.3}$  или приблизительно  $v_{cp} \approx \sqrt[3]{\sin \alpha}$

Выражая ширину желоба ( $2y$ ) в данном сечении через начальную ширину ( $2y_0$ ) и расстояние сечения от начала желоба ( $x$ ) из формулы (4) получим после преобразований:

$$v_{cp} = \rho_2 \left\{ \frac{Q^{3/2} (\sin \alpha)^{3/4}}{2y_0 \left[ 1 - \frac{x}{L} (1 - \zeta) \right]} \right\}^{0.4} \quad (5) \quad \text{где } \zeta = \frac{y_k}{y_0} \text{ - коэффициент сужения желоба}$$

( $2y$  - ширина желоба у конца);  $\rho_2$  - коэффициент.

**Приборы и материалы:** установка с суживающимся желобом, мерный цилиндр, секундомер, линейка, транспортер, тонкая проволока для замера глубины потока.

## Методика выполнения работы

1). На суживающемся желобе выбираются 3-4 сечения на расстоянии от начала желоба  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$ . Для данных сечений определяется ширина желоба  $2y_1, 2y_2, 2y_3 \dots$  а также ширина в конце желоба  $2y_k$  и его загрузочной части  $2y_0$ . Определяется угол наклона желоба  $\alpha$  и его общая длина  $L$

2). Установка с суживающимся желобом включается в замкнутом цикле и устанавливается заданный расход воды  $Q_1$  с помощью регулировочных кранов.

3). В конце желоба определяется глубина потока  $h_k$ . И по известному расходу и величине сечения потока рассчитывается средняя конечная скорость  $v_{ср k}$ .

4). Полученные параметры подставляются в формулу (5) и из нее рассчитывается значение коэффициента  $p_2$ , который остается неизменным для всех сечений потока при расходе  $Q_1$ .

5). Для выбранных сечений рассчитываются теоретические значения средней скорости  $v_{ср i}$  и из формулы (3) рассчитывается теоретическая глубина потока  $h_i$  в данных сечениях.

6). Для выбранных сечений определяются экспериментальные значения глубины потока  $h_{i экс}$ . Данные измерений и расчетов заносятся в таблицу и строятся графические зависимости  $v_{ср i}(x)$ ,  $h_i(x)$  и  $h_{i экс}(x)$ .

Параметры аппарата	$2y_0 =$	(м);	$2y_k =$	(м);	$L =$	(м);	$\alpha =$	(град).
Параметры потока	$Q_1 =$	(м <sup>3</sup> /с);	$h_k =$	(м);	$v_{ср k} =$	(м/с).		
№№	$x_i$ м		$2y_i$ м		$v_{ср i}$ м/с		$h_i$ м	$h_{i экс}$ м
1								
2								
3								
...								

