

УДК626.823.4

UDC 626.823.4

КРИТИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ ПОДСАСЫВАЕМЫХ ПОТОКОВ В СТРУЙНЫХ СМЕСИТЕЛЯХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ, МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ВОДЫ

STALLING SPEEDS OF PRESSURE IN-FLOW STREAMS OF STOCK-RAISING FLOWS, MINERAL FERTILIZERS AND WATER

Тарасьянц Сергей Андреевич
д.т.н., к.т.н., профессор

Tarasyants Sergey Andreevich
Dr.Sci.Tech.,professor

Вакуленко Юлия Сергеевна
аспирантка

Vakulenko Julia Sergeevna
postgraduate

Уржумова Юлия Сергеевна
Канд.техн.н.

Urzhumova Julia Sergeevna
Cand.Tech.Sci.

Дегтярева Карина Александровна
Канд.техн.н., ассистент
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт (ДГАУ), Новочеркасск, Россия

Degtyareva Karina Aleksandrovna
Cand.Tech.Sci., assistant
Novocherkassk Engineering reclamation Institute (DGAU), Novocherkassk, Russia

В статье рассмотрен кольцевой двухповерхностный струйный трехкомпонентный насос-смеситель. Предлагается метод расчета критических докавитационных скоростей, подсосываемых потоков животноводческих стоков и минеральных удобрений

The article describes a circular two-surface three-component jet agitator (pump). The calculation method of critical precavitation speeds and in-flows of live-stock wastes and mineral fertilizes was introduced

Ключевые слова: СТРУЙНЫЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ, КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ, ПОДСАСЫВАЕМЫЙ ПОТОК, НАПОР, СОПЛО

Keywords: JET, THREE-COMPONENT, AGITATOR, STALL SPEED, IN-FLOW, PRESSURE HEAD, NOZZLE

При определении критических значений скорости потока во внешней и внутренней областях, составляется уравнение Д. Бернулли, приведенное для сечений А-А и t-t во внешней, А-А и О-О внутренней областях.

$$\frac{P_a}{\rho g} + H_3 \frac{\rho_{II}}{\rho g} = \frac{P'_t}{\rho g} + \frac{U'^2_t}{2g} (1 + \zeta'_{f-t}) \frac{\rho_t}{\rho g} + H_t \frac{\rho_t}{\rho g} + hW_{(x-t)} \quad (1)$$

и

$$\frac{P_a}{\rho g} + H_3 \frac{\rho_{II}}{\rho g} = \frac{P''_o}{\rho g} + \frac{U''^2_o}{2g} (1 + \zeta''_{f-o}) \frac{\rho_o}{\rho g} + H_o \frac{\rho_o}{\rho g} + hW_{(x-o)} \quad (2)$$

где

$\frac{P_a}{\rho g}$ - атмосферное давление, м

$hW_{(x-t)}$ - потери напора на отрыв животноводческих стоков во всасывающем трубопроводе смесителя, м

ζ'_{f-t} и ζ''_{f-o} - коэффициенты гидравлического сопротивления от входа в смеситель f-f до сечения t-t во внешней и О-О во внутренней областях, приведенные к скоростям U'_t и U''_o .

Значения величин в круглых скобках в зависимостях (1) и (2) могут быть приняты равными, так как величины коэффициентов ζ'_{f-t} и ζ''_{f-o} изменяются в пределах от 0,03 до 0,10, т.е. $1+\zeta'_{f-t} = 1+\zeta''_{f-o} = 1 + \zeta_B$, где $\zeta_B = 0,03 - 0,10$ - коэффициент гидравлического сопротивления камеры смешения (на вход).

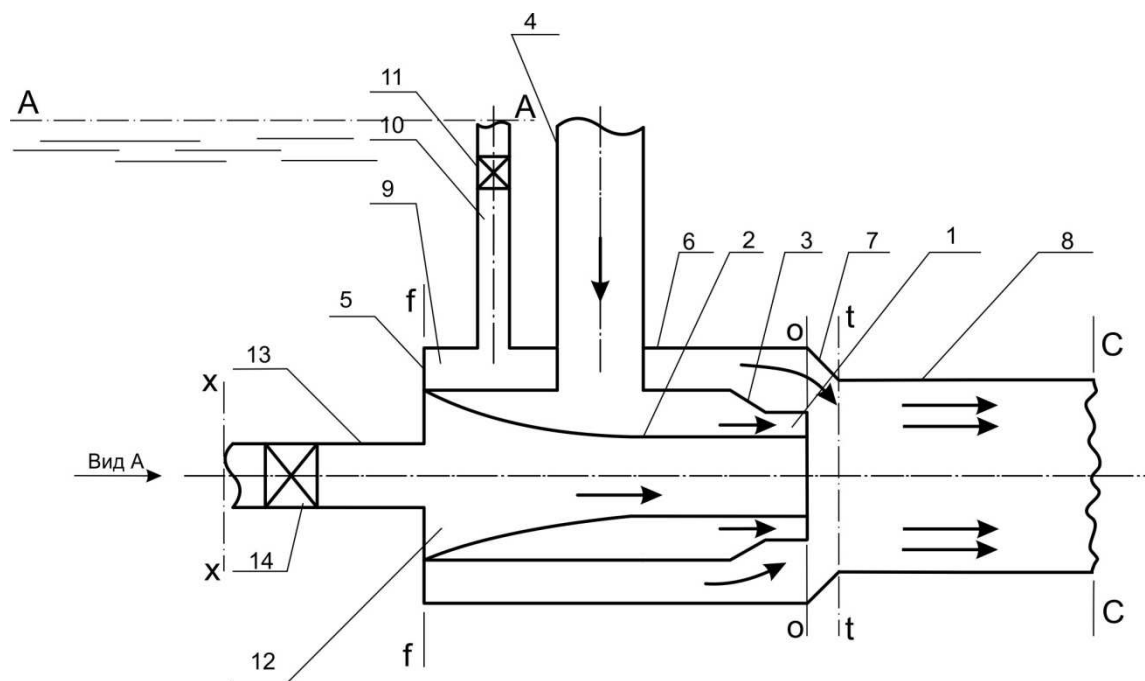


Рисунок 1- струйный трехкомпонентный насос – смеситель

1-внутренняя кольцевая щель; 2- внутреннее сопло; 3- наружное сопло; 4 – трубопровод подачи воды; 5 – заглушка; 6 – наружный стакан; 7 – конфузор; 8 – камера смешения; 9 – внешняя подсосывающая область; 10 – трубопровод подачи минеральных удобрений; 11- задвижка; 12 - внутренняя подсосывающая область животноводческих стоков; 13 – трубопровод подачи животноводческих стоков; 14 – задвижка.

Потери напора $hw_{(x-t)}$ зависят в основном от конструкции механического рыхлителя при его наличии.

В случаях, когда отсутствует механический рыхлитель, всасывающий трубопровод выполняется в виде наконечника и потери $hw_{(x-t)}$ можно учитывать через коэффициент ζ_B , придав ему величину максимума.

При замене в уравнениях (1) и (2) гидродинамическое давление в сечениях t-t во внешней и О-О во внутренней областях, упругостью водяного пара $\frac{P_m}{q\rho_0}$, и добавив, в качестве слагаемого величину срывной кавитации σ (по Х.Ш. Мустафину [1] $\sigma=0,3$), что подтверждается нашими опытами [2], получим с учетом $1+\zeta'_{f+t} + \sigma = 1 + \zeta''_{f-o} + \sigma = 1 + \zeta''_B + \sigma$ формулу для определения критической докавитационной скорости.

$$\bar{U}_k = \frac{1}{V_0} \sqrt{2q \frac{\frac{P_0 - P_m}{q\rho_0} + H_B \frac{\rho_u}{\rho_0} - H_t \frac{\rho_u}{\rho_0} - hw_{(x-t)}}{1 - \zeta''_B + \sigma}} \quad (3)$$

В случае работы на воде ($\rho_u = \rho_1 = \rho_0$) и с коротким всасывающим наконечником ($hw_{(x-t)} \approx 0$):

$$\bar{U}_k = \frac{1}{V_0} \sqrt{2q \frac{\frac{P_0 - P_m}{q\rho_0} + H_c}{1 + \zeta''_B + \sigma}}, \quad (4)$$

где: $H_c = H_2 - H_t$ – заглубление сечения О-О и t-t под уровень навозонакопителя, м; для исследуемого кольцевого двухповерхностного смесителя принимается заглубление сечения О-О или t-t в зависимости от того, какая относительная скорость больше $\bar{U}'_t(t-t)$ или $\bar{U}'_t(O-O)$.

При определении максимальных скоростей подсосываемых потоков на активном участке взаимодействия, бескавитационный режим работы смесителя обеспечивается при соблюдении условий $\bar{U}'_t \leq \bar{U}_k$ и $\bar{U}''_o \leq \bar{U}_k$. При заданных геометрических размерах и коэффициентов смещения α_0 значение относительной скорости \bar{U}''_o определяется по зависимости:

$$\bar{U}''_o = \frac{\alpha_0}{(m-1)\bar{V}_0}, \quad (5)$$

выведенной ниже:

$$\bar{U}''_o = \frac{G_1''}{q\rho_1 f''_o} = \frac{G_1}{q\rho_1(\varphi - \omega_0)} = \frac{q\rho_0 \alpha_0 \bar{V}_0}{q\rho_1 \left(\frac{\varphi}{\omega} - 1\right)},$$

Зависимость (5) получена с учетом того, что $\bar{V}_0 = 1$, а $m = \frac{\varphi}{\omega}$.

При определении относительной скорости \bar{U}'_t вводятся допущения:

1) В сечении О-О весовой расход рабочей струи рассматривается условно разделенным на части, пропорционально расходам подсосываемого потока, поступающего из внешней и внутренней областей, (каждая из частей рабочей струи работает на вовлечение соответствующей части подсосываемого потока; граничная поверхность областей предполагается цилиндрической по длине проточной части, с постоянным радиусом.

2) Гидродинамическое давление в сечениях, взаимодействующих струй рабочей и подсосываемой, полагается постоянным по сечению;

3) Плотность подсосываемого потока по пути областей (внешней и внутренней) полагается постоянной, т.е. $\rho_1 = const$;

4) В пределах камеры смешения живое сечение подсосываемого потока предполагается очерченным частью торховой поверхности.

5) Касательные напряжения в потоках по граничной поверхности с радиусом r_r , разделяющей внутреннюю и внешнюю области равны нулю, ввиду малого поперечного градиента продольных скоростей.

6) Коэффициенты Кориолиса и Буссинеска в сечениях О-О и С-С принимаются равными 1, имея в виду распределение скоростей равномерным.

Максимальная скорость \bar{U}_r' во внешней области определяется при выращивании относительных напоров нагнетания \bar{H}_r при $\bar{Z} > 0$ и $\bar{Z} \approx 0$.

Напор нагнетания смесителя в относительных величинах определяется по зависимости:

$$\bar{H}_r = \bar{H}_r' + \bar{H}_r'' \quad (6)$$

где \bar{H}_r' и \bar{H}_r'' - относительные величины напоров во внешней и внутренней областях.

Относительные напоры \bar{H}_r' и \bar{H}_r'' получены по уравнениям количества движения, составленным для сечений О-О и С-С и уравнения Бернул-

ли для сечений f-f и t-t и f-f и O-O во внешней и внутренней областях при $\bar{Z} > 0$.

$$\begin{aligned} \bar{H}'_r = & 2\left(\bar{V}'_0{}^2 \bar{\omega}'_0 \bar{\rho}'_0 + \bar{U}'_o{}^2 \bar{f}'_0 \bar{\rho}'_1\right) + 0,5\left(\bar{\varphi}'_0 + \bar{\varphi}'\right)\left(\bar{U}'_t{}^2 - \bar{U}'_o{}^2\right) \bar{\rho}'_1 - \bar{\varphi}' \times \\ & (1 + \zeta'_e) \bar{U}'_t{}^2 \bar{\rho}'_1 - \bar{\varphi}' \bar{V}'_c{}^2 (1 + \zeta'_2 + \zeta'_g) \bar{\rho}'_2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\bar{H}''_r = 2\left(\bar{V}''_0{}^2 \bar{\omega}''_0 \bar{\rho}''_0 + \bar{U}''_o{}^2 \bar{f}''_0 \bar{\rho}''_1\right) - \bar{\varphi}'' (1 + \zeta''_e) \bar{U}''_o{}^2 \bar{\rho}''_1 - \bar{\varphi}'' \bar{V}''_c{}^2 (1 + \zeta''_2 + \zeta''_g) \bar{\rho}''_2 \quad (8)$$

В случае когда, относительная скорость подсасываемого потока при оптимальном расстоянии \bar{Z}_{opt} постоянна на всем активном участке, то обозначив ее \bar{U}' величина определяется по зависимости $\bar{U}' = \bar{U}'_o = \bar{U}'_t$, а также обозначив $\bar{f}' - \bar{f}'_c$ и $q = \bar{\varphi}' / \bar{f}'$, зависимость (7) получена в виде:

$$\bar{H}'_r = 2\bar{V}'_0{}^2 \bar{\omega}'_0 \bar{\rho}'_0 + 2\bar{U}'^2 \frac{\bar{\varphi}'}{q} \bar{\rho}'_1 - \bar{U}'^2 \varphi' (1 + \zeta'_e) \bar{\rho}'_1 - \bar{\varphi}' \bar{V}'_c{}^2 (1 + \zeta'_2 + \zeta'_g) \quad (8)$$

Оптимальная величина q_{opt} выведена по зависимости:

$$\frac{d\bar{H}'_r}{dq} = 0$$

$$\text{Решение, которого дает } q_{opt} = \frac{1}{1 + \zeta'_e} \quad (9)$$

Из первого допущения следует, что:

- коэффициенты смещения во внешней и внутренней области равны полному коэффициенту смещения:

$$\alpha' = \frac{G'_2}{G'_0} = \frac{G''_2}{G''_0} = \alpha'' = \frac{G'_2 + G''_2}{G'_0 + G''_0} = \frac{G_2}{G_0} = \alpha_c, \quad (10)$$

- относительный радиус граничной поверхности

$$\bar{r}'_1 = \bar{r}''_0 \sqrt{\frac{m}{m-1}}, \quad (11)$$

- отношение подсасываемых величин

$$\frac{G'_2}{G'_1} = \frac{G_2 - G''_2}{G_2} = \frac{\alpha_0 q \rho_0 V_0 \omega_0}{q \rho_1 U_0 f_0} - 1 = \frac{m-1}{m \bar{r}'_0} - 1, \quad (12)$$

Так как $\bar{\omega}'_0 = \frac{1}{m}$, $\bar{V}'_0 = 1$, $\bar{f}'_0 = \bar{r}'_0{}^2$, $\bar{U}'_0 = \frac{\alpha_0}{\rho_1 (m-1)}$,

$$\bar{U}' = \frac{\alpha_0 q}{\rho_1 m} \quad (12)$$

Подставив зависимости (9) и (12) в выражение (10) выведена зависимость для определения максимальной скорости подсасываемого потока во внешней области

$$\bar{U}'_t = \sqrt{\frac{\left(\frac{\alpha_0}{m}\right)^2 \frac{\bar{\varphi}'}{1+\zeta_B} - \bar{U}'_0{}^2 \left[2\bar{f}'_0 - 0,5(\bar{\varphi}'_0 + \bar{\varphi}')\right]}{0,5(\bar{\varphi}'_0 + \bar{\varphi}') - \bar{\varphi}'(1+\zeta_B)}} \quad (13)$$

Формулы для определения величин, входящих в зависимость (13) при заданных коэффициенте смещения α_0 , геометрической характеристики смесителя m и относительных радиусов отверстий кольцевого сопла \bar{r}'_0 и \bar{r}_0''

$$m' = \frac{1 - \bar{r}'_0{}^2}{\bar{r}'_0{}^2 - \bar{r}_0''^2} \quad (14)$$

- геометрическая характеристика во внешней области;

$$\bar{\varphi}' = 1 - \bar{r}'_0{}^2 \quad (15)$$

- относительная площадь камеры смещения, отнесенная ко внешней области;

$$\bar{f}'_0 = \frac{1 + \bar{Z}tg\frac{\alpha}{2} - \bar{r}_0''^2}{tg\frac{\alpha}{2}} \left[\alpha \bar{r}'_0{}^2 + 4 \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{tg\frac{\alpha}{2}} (1 + \bar{Z}tg\frac{\alpha}{2} - \bar{r}_0''^2) \right] \quad (16)$$

Площадь живого сечения относительная подсосываемого потока в сечении О-О внешней области.

Таблица 1- сводка формул для расчета относительных максимальных скоростей подсосываемого потока

смеситель	Области растекания подсосываемого потока	
	внешняя	внутренняя
Кольцевой с двухповерхностной рабочей струей	$\bar{U}'_t = \sqrt{\frac{\left(\frac{\alpha_0}{m}\right)^2 \frac{\bar{\varphi}'}{1+\zeta_B} - \bar{U}'_0{}^2 \left[2\bar{f}'_0 - 0,5(\bar{\varphi}'_0 + \bar{\varphi}')\right]}{0,5(\bar{\varphi}'_0 + \bar{\varphi}') - \bar{\varphi}'(1+\zeta_B)}}$	$\bar{U}_o'' = \frac{\alpha_0}{\bar{\rho}_1(m-1)}$
С центральной рабочей струей	$\bar{U}'_t = \sqrt{\frac{\left(\frac{\alpha_0}{m}\right)^2 \frac{1}{1+\zeta_B} - \bar{U}'_0{}^2 \left[2\bar{f}'_0 - 0,5(1 + \bar{\varphi}'_0)\right]}{0,5(1 + \bar{\varphi}'_0) - (1 + \zeta_B)}}$	-
Кольцевой с одноповерхностной рабочей струей	-	$U_o = \frac{\alpha_0}{\bar{\rho}_1(m-1)}$

Для смесителя с центральной рабочей струей \bar{f}_o вычисляется по формуле (16) при $\bar{r}'_o = \frac{1}{m}$, $\bar{Q}_o = \bar{f}_o + \frac{1}{m} \bar{U}_o$ по формуле (18) при $\bar{r}''_o = 0$ и $\bar{f}'_o = \bar{f}_o$.

Для сопоставления опытных и расчетных значений максимальных относительных скоростей во внешней \bar{U}'_t и внутренней \bar{U}''_t областях и подтверждение правомерности применения зависимости.

Использованы опыты, приведенные в работах [2] и [3].

С геометрической характеристикой $m=6,25$;

Относительным расстоянием $\bar{Z} = 2,8$ и $\bar{Z}=1,08$;

Углом конусности конфузора $\gamma=20^\circ$ (0,349 рад);

Коэффициентом гидравлического сопротивления на вход $\zeta_{\text{в}} = 0,1$;

Исследования проводились при, т.е. $\rho_1 = \rho_0 = 1$.

В таблице 2 приведено сопоставление опытных и расчетных относительных скоростей $\bar{U}'_o = \bar{U}_o$ и $\bar{U}'_t = \bar{U}_t$ при различных коэффициентах смешения α_o и расстояниях \bar{Z} .

Г.Е. Мускевич [3] выполнил замеры скоростей в проточной части кольцевого насоса-смесителя с двухповерхностной рабочей струей и с цилиндрическим смесителем.

Геометрическая характеристика смесителя $m=4,17$.

Относительное расстояние $\bar{Z} = 0,6 - 0,8$.

Угол конусности конфузора $\gamma=96^\circ 08$.

Коэффициент гидравлического сопротивления на вход $\zeta_{\text{в}} = 0,05$. Исследования проводились на воде, ($\rho_1 = 1,0$).

Таблица 2- сопоставление опытных по Панину и расчетных данных

Коэф. смешения α_0	Скорость V_0 м/с опыт	Расстояние $\frac{e}{Z}$	Площади относит. расчетные			Опытные скорости				Расчетные скорости		Расхождение	
			\bar{f}'_0	$\bar{\omega}'_0$	$\bar{\varphi}'_0$	U'_0 м/с							%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1,10	22,00					2,0	2,9	0,09	0,13	0,08	0,14	-4,4	6,8
1,17	17,30					1,7	2,4	0,09	0,14 0	0,09	1,14	-5,1	6,4
1,07	15,00					1,3	1,9	0,08	0,12	0,08	0,13	-2,3	7,0
0,53	14,00	2,8	2,03	0,16	2,01	0,6	1,00	0,04	0,07	0,04	0,06	-2,3	-7,0
1,04	7,40					0,7	1,00	0,09	0,13 5	0,08 2	0,13	- 12, 7	-3,0
1,60	14,65					1,9	3,00	0,13 0	0,20 5	0,12 6	0,20 2	-3,0	-1,5
2,61	14,70					2,9	4,95	0,19	0,33	0,20	0,33	4,1	-1,2
2,74	15,00					3,2	5,30	0,21 3	0,35	0,21	0,34	0,9	-1,1
1,77	18,00					2,4	4,00	0,13	0,22	0,13	0,21	1,5	-1,4

Сопоставление опытных по Г.Е. Мускевичу [3] и наших расчетных данных показано в таблице 3.

Таблица 3- Сопоставление опытных по Г.Е. Мускевичу и расчетных данных

Коэф. смешения α_0	Опытные скорости					Расчетные скорости \bar{U}'' (относительные)	Створ I %	Створ II %
	Скорость V_0 м/с	Створ I		Створ II				
		U''_0 (оп), м/с	\bar{U}_1 (оп)	\bar{U}_{II} (оп)				
1,20	15,00	5,50	0,367	5,30	0,35	0,379	3,45	7,37

В таблицах 2 и 3 получено удовлетворительное совпадение опытных и расчетных данных, что подтверждает правомерность ранее выведенных зависимостей для расчета относительных скоростей U'_t во внешней и $\bar{U}''_0 = \bar{U}''$ во внутренней областях.

Исследован кольцевой трехкомпонентный эжектор с двухповерхностной рабочей струей, установленный на опытном орошаемом участке.

Одна из задач исследования состояла в опытном определении критических по кавитации коэффициентов смешения для различных напоров рабочего потока.

Геометрическая характеристика смесителя $m=5,28$.

Внешний диаметр кольцевого сопла $d'_0 = 63,3$ мм.

Внутренний диаметр кольцевого сопла $d''_0 = 55$ мм.

Диаметр камеры смешения $D_g = 72$ мм.

Расстояние от обреза сопла до начала $Z = 40$ мм.

Угол конусности конфузора $\gamma = 90^\circ$.

При определении расчетного критического коэффициента смешения приняты следующие величины параметров.

Атмосферное давление $\frac{P_a}{\rho g} = 10,33$ мм.

Упругость водяного пара $\frac{P_m}{\rho g} = 0,24$ м (при температуре 20°C)

Заглубление выходного отверстия сопла под 1 м;

Коэффициент срывной кавитации $\sigma = 0,3$;

Коэффициент гидравлического сопротивления входа $\zeta_g = 0,1$;

Исследования проводились на воде, $\rho_1 = \rho_0 = 1,0$;

Таблица 4 - Сопоставление опытных и расчетных критических по кавитации коэффициентов смешения

Напор нагнет. $H_{н}, \text{м}$	Рабочий расход $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	Скорость истечения из сопла $V_0, \text{м/с}$	Расчетная скорость \bar{U}'_c (относительная)	Расчетная критич. скорость \bar{U}'_k (относительная)	Расч.критич. коэфф. смешения $\alpha_k = U'_k(m-1)$	Расхожд. $\frac{\alpha_k}{\alpha_{k(оп)}} - 1$	Опытн. критич. коэф. смешения $\alpha_{k(оп)}$
90,7	0,031	40,22	0,061		1,32	1,31	0,76
82,6	0,028	36,33	0,069		1,47	1,47	0
70,0	0,026	33,74	0,076		1,58	1,51	41,86

Теоретические исследования дали возможность для определения гидравлических и геометрических элементов струйных смесителей, используемых в системах орошения стоками животноводческих комплексов. Доказана возможность применения к подсасываемому потоку, уравнения Д.Бернулли, и получена зависимость, для определения критической, по кавитации, скорости подсасывающих потоков. Выведены зависимости, для вычисления максимальных скоростей подсасываемого потока в различных конструкциях насосов-смесителей при сопоставлении подсасываемого с критической скоростью, определяющей докавитационный режим.

Литература

1. Мустафин Х.Ш. Расчет эжектора на воде и гидросмеси // Сб. трудов ВНИИ-Неруд, 1968.- 12с.
- 2.Панин В.М. Водоструйные насосы и их применение при намыве земляных плотин и при строительных работах с глубоким водоотливом. – М.:Госстройиздат. 1953.- 49с.
- 3.Мускевич Г.Е. Гидравлические исследования и расчет водоструйных аппаратов // Дис..... Канд. техн. наук. Ростов н/Д 1970.- 58с.

References

1. Mustafin H.Sh. Raschet jezhektora na vode i gidrosmesi // Sb. trudov VNII-Nerud, 1968.- 12с.
- 2.Panin V.M. Vodostrujnye nasosy i ih primenenie pri namyve zemljanyh plotin i pri stroitel'nyh rabotah s glubokim vodootlivom. – M.:Gosstrojizdat. 1953.- 49с.
- 3.Muskevich G.E. Gidravlicheskie issledovanija i raschet vodostrujnyh apparatov // Dis..... Kand. tehn. nauk. Rostov n/D 1970.- 58с.