

УДК 621.694.3

UDC 621.694.3

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ
ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
РАЗМЕРОВ КОЛЬЦЕВЫХ СОПЕЛ
СТРУЙНЫХ НАСОСОВ С
ДВУХПОВЕРХНОСТНОЙ РАБОЧЕЙ СТРУЕЙ****RECOMMENDATIONS FOR THE CHOICE OF
OPTIMUM GEOMETRICAL DIMENSIONS OF
RING NOZZLES OF JET PUMPS WITH TWO-
SURFACE WORKING JET**Реунов Николай Владимирович
аспирантReunov Nikolay Vladimirovich
postgraduate studentЕфимов Денис Сергеевич
аспирантEfimov Denis Sergeevich
postgraduate studentТарасьянц Сергей Андреевич
д.т.н., профессор
*ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная
мелиоративная академия», Россия*Tarasyants Sergey Andreevich
Dr.Sci.Tech., professor
*FSBEI HPI «Novocherkassk State Land Reclamation
Academy», Russia*

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований кольцевых сопел по выявлению их оптимальных геометрических размеров с применением теории планирования эксперимента. Даны рекомендации по выбору оптимальных геометрических параметров кольцевых сопел

The given article presents the results of experimental researches of ring nozzles for the determination of their optimum geometrical dimensions with an application of the planning experiment theory. The article gives the recommendations for the choice of optimum geometrical parameters of the ring nozzles

Ключевые слова: СТРУЙНЫЙ НАСОС,
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
СТРУЙНОГО НАСОСА, КПД СТРУЙНОГО
НАСОСА

Keywords: JET PUMP, HYDRAULIC
RESISTANCE, EFFICIENCY OF JET PUMP

Струйные насосы применяются в гидротехническом строительстве и в водоснабжении в качестве откачивающих и водоподъемных устройств. Известные типы струйных насосов характеризуются формой сопла. Струйный насос [1] с кольцевой двухповерхностной рабочей струей (рис. 1) имеет КПД выше, чем струйные насосы с коническим соплом (рис. 2) и кольцевой одноповерхностной рабочей струей (рис. 3). Многочисленными работами российских и зарубежных исследователей выявлено, что коэффициент гидравлического сопротивления сопла является одним из основных факторов, влияющих на КПД струйного насоса [2]. В свою очередь на коэффициент гидравлического сопротивления сопла оказывает влияние угол конусности γ' и наличие цилиндрического патрубка определенной длины l_c (рис. 4). В связи с тем, что в соответствующей литературе [3, 4, 5, 6] отсутствуют рекомендации по выбору оптимальной

геометрии кольцевого сопла с двухповерхностной рабочей струей, были проведены экспериментальные исследования кольцевых насадок с целью выявления данных параметров. Подвод воды к соплу осуществлялся с двух сторон, истечение воды из сопла производилось в атмосферу.

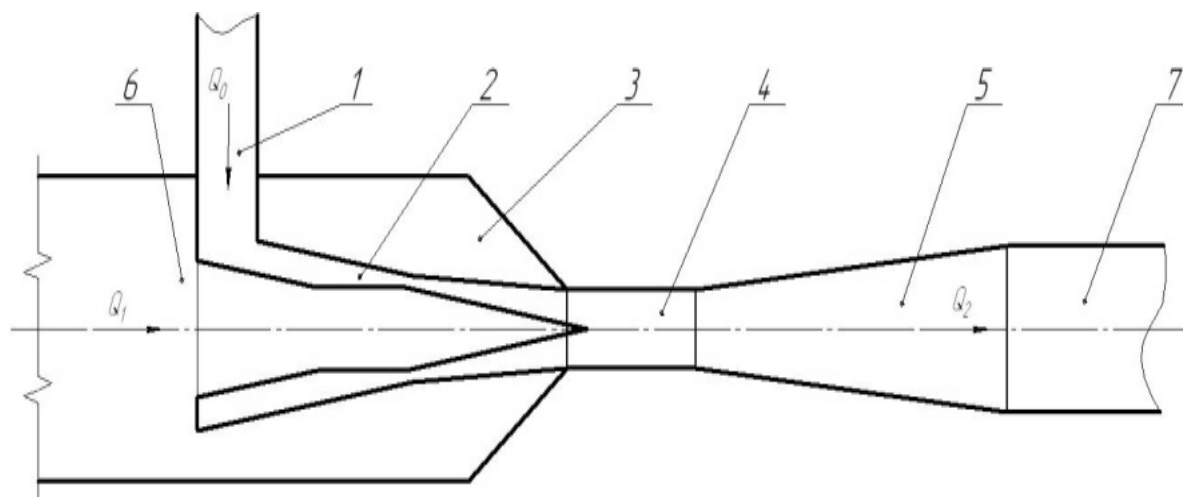


Рисунок 1 – Струйный насос с кольцевым соплом
(двухповерхностная рабочая струя).

1 – рабочий трубопровод; 2 – кольцевое сопло; 3 – приемная камера; 4 – смеситель; 5 – диффузор; 6 – всасывающий трубопровод; 7 – напорный трубопровод.

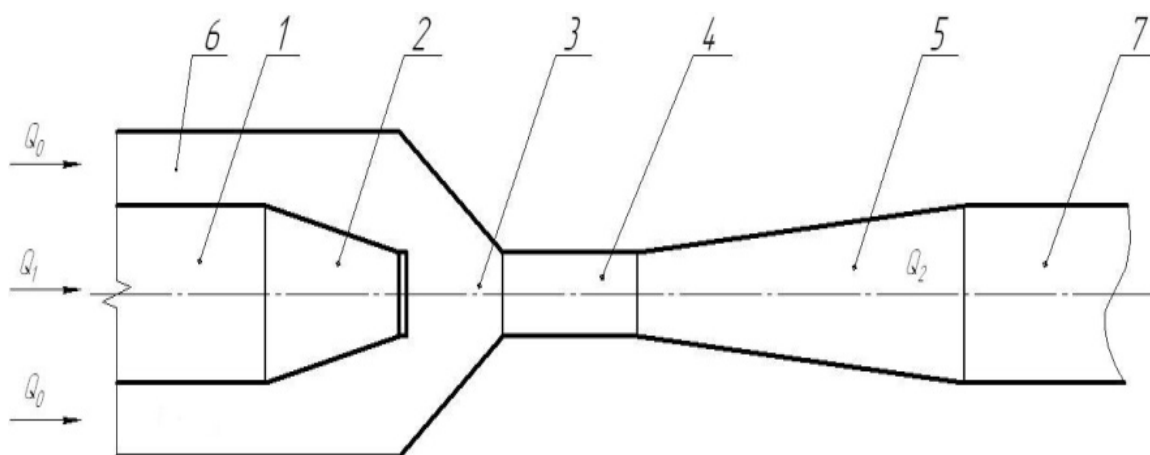


Рисунок 2 – Струйный насос с коническим соплом (насадком).

1 – рабочий трубопровод; 2 – насадок; 3 – приемная камера; 4 – смесительная камера; 5 – диффузор; 6 – всасывающий трубопровод; 7 – напорный трубопровод.

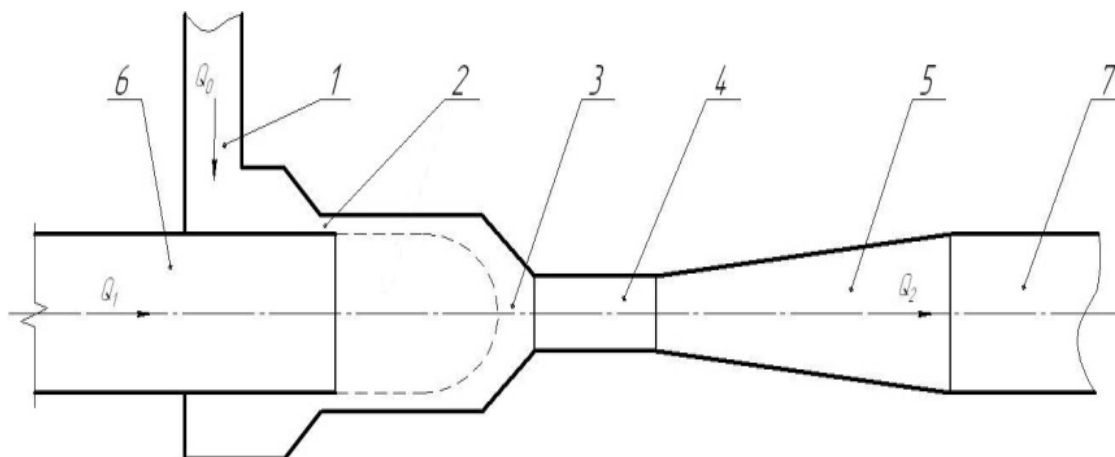


Рисунок 3 – Струйный насос с кольцевым соплом

(одноповерхностная рабочая струя).

1 – рабочий трубопровод; 2 – кольцевая щель; 3 – приемная камера; 4 – камера смешения; 5 – диффузор; 6 – всасывающий трубопровод; 7 – напорный трубопровод.

Критерием оптимальных геометрических размеров исследованных сопел является величина коэффициента расхода μ , определяемая по формуле:

$$\mu = \frac{Q_0}{\omega_0 \sqrt{2gH}}, \quad (1)$$

где: Q_0 - рабочий расход воды, протекающий через сопло;

ω_0 - площадь выходного отверстия сопла;

H - полный напор перед соплом.

Задача оптимизации решалась методами теории планирования эксперимента [7]. Факторами, влияющими на величину коэффициента расхода μ , являются:

- угол конусности внешнего насадка сопла γ' ;
- относительная длина цилиндрической части сопла

$$\bar{l}_c = \frac{l_c}{b}, \quad (2)$$

где: l_c - длина вставки;

b - ширина кольцевой щели;

- число Рейнольдса:

$$Re = \frac{2bV_0}{\nu}, \quad (3)$$

где: V_0 - средняя скорость истечения струи из сопла;

ν - коэффициент кинематической вязкости воды при температуре опыта.

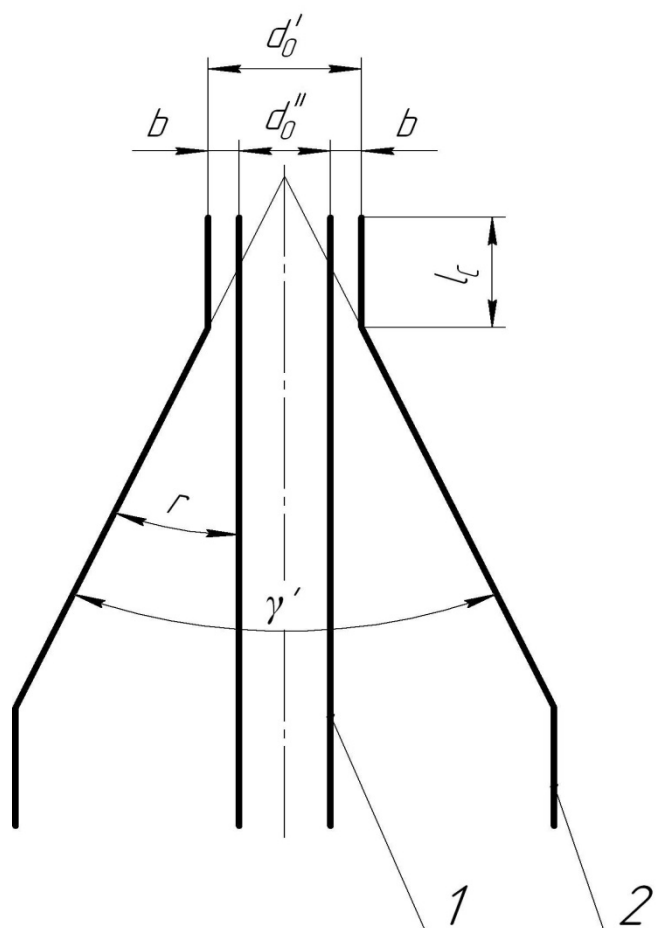


Рисунок 4 – Кольцевое сопло.

1 – внутренний насадок; 2 – наружный насадок.

Интервалы варьирования приведены в таблице 1, численные значения факторов γ' и \bar{L}_c на основном уровне приняты равными соответствующим оптимальным значениям для конического насадка с центральной струей. Ширина кольцевой щели $b=2$ мм, скорость истечения при этом изменилась от (8-10) м/с до (22-24) м/с. Геометрические размеры кольцевых сопел изменялись путем установки различных наружных насадков при неизменном внутреннем $d_0 = 27,93$ мм (рис.4).

Геометрические размеры наружных насадков приведены в таблице 2.

Таблица 1 – ИНТЕРВАЛЫ ВАРЬИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ.

Факторы	Ед.изм.	Код	Основной уровень «0»	Интервал варьирования	Нижний уровень «-»	Верхний уровень «+»
γ'	град	X ₁	70	20	50	90
$\bar{l}_c = \frac{l_c}{b}$	б/р	X ₂	3	3	0	6
$Re = \frac{2bV_0}{\nu}$	б/р	X ₃	$6,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$

Таблица 2 – ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ НАРУЖНЫХ НАСАДКОВ.

№ наружн. насадков	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внутренний диаметр, d'_0 , мм.	31,96	31,93	31,98	31,91	32,10	32,35	31,85	31,97	31,91
Угол конусности, γ' , град.	50	50	50	70	70	70	90	90	90
Длина цилиндрич. части, l_c , мм.	6	0	12	0	6	12	12	6	0
Относит. длина цилиндрической части, \bar{l}_c .	3	0	6	0	3	6	6	3	0

По результатам испытаний для каждого кольцевого сопла строилась зависимость $\mu = f(Re)$ (рис. 5, 6, 7) и для них определялись значения целевой функции $\mu = f(\gamma', \bar{l}_c, Re)$ при соответствующих значениях фактора Re .

Матрица планирования и результаты опытов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ.

№№ опытов	X ₁	X ₂	X ₃	μ	№ наружного насадка
1	+	+	0	0,980	7
2	-	-	0	0,927	2
3	+	-	0	0,865	9
4	-	+	0	0,978	3
5	0	0	0	0,976	5
6	0	+	+	0,990	6
7	0	-	-	0,930	4
8	0	-	+	0,925	4
9	0	+	-	0,975	6
10	0	0	0	0,978	5
11	+	0	+	0,975	8
12	-	0	-	0,970	1
13	+	0	-	0,960	8
14	-	0	+	0,975	1
15	0	0	0	0,980	5

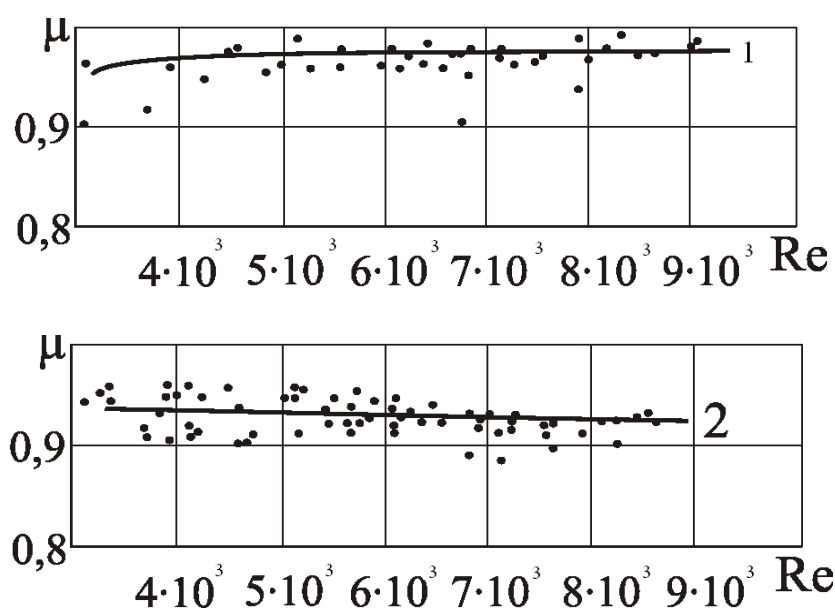


Рисунок 5 – Зависимость $\mu = f(Re)$ для кольцевого сопла №1, 2.

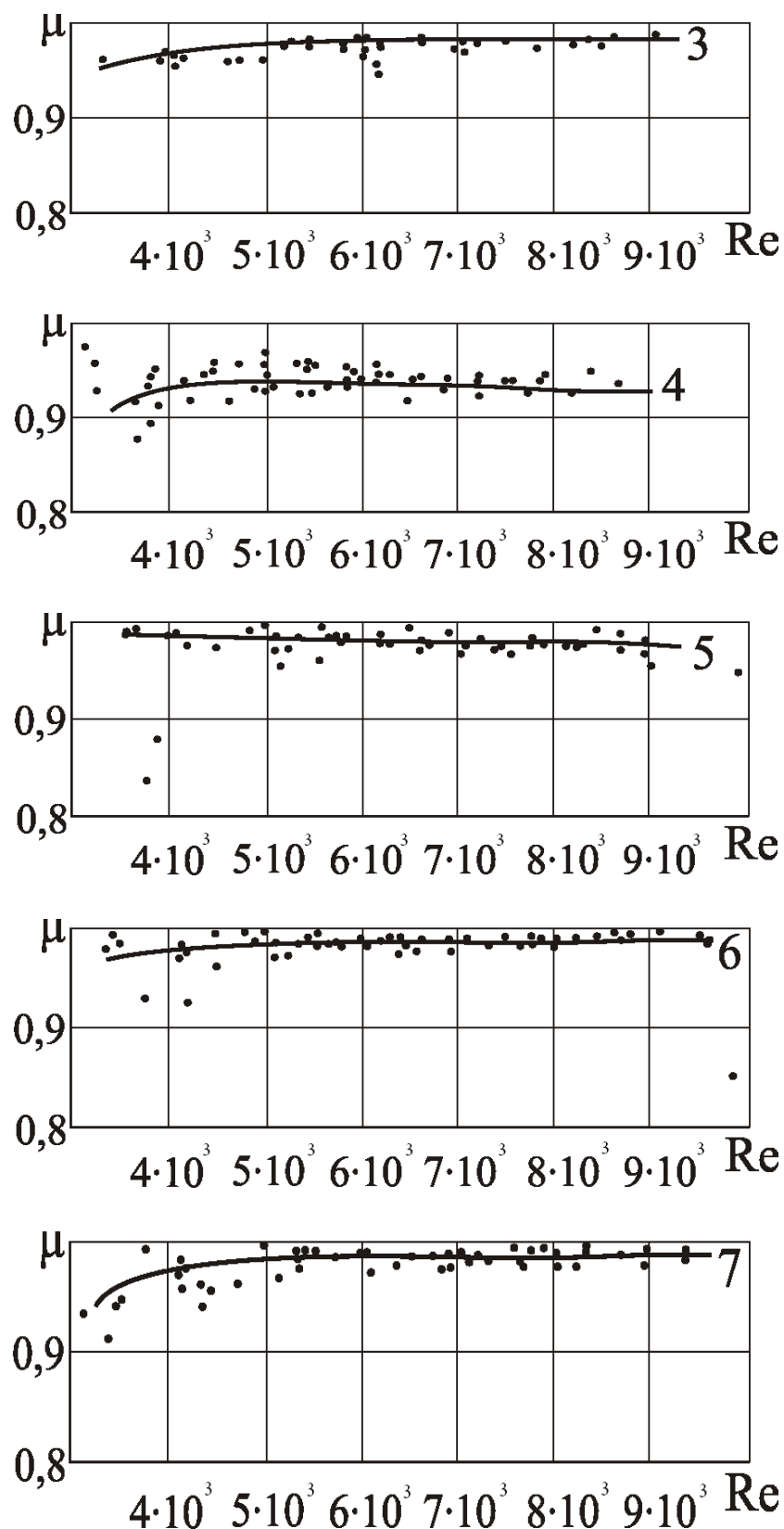


Рисунок 6 – Зависимость $\mu = f(Re)$ для кольцевых сопел №3-7.

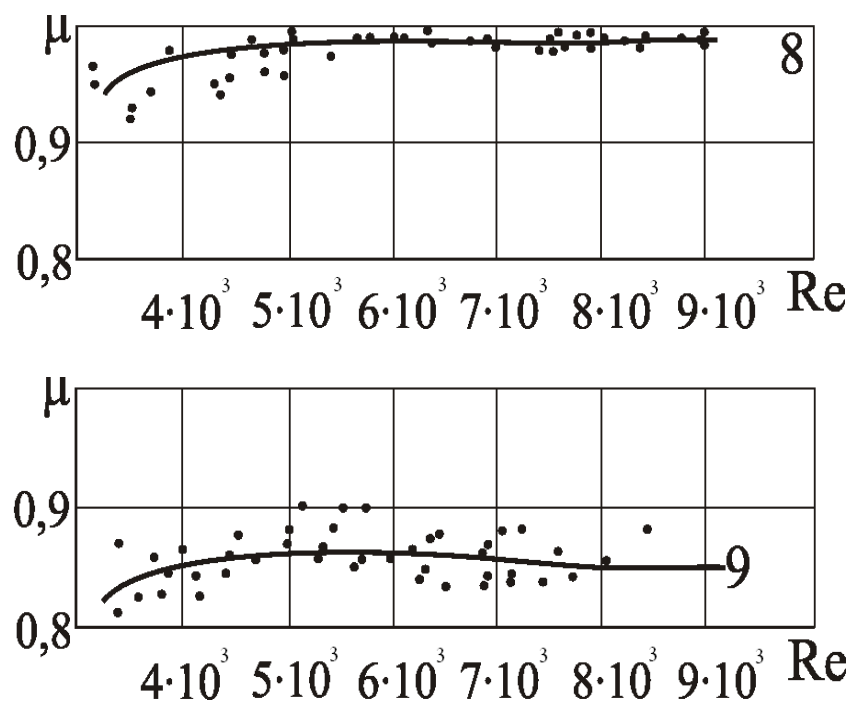


Рисунок 7 – Зависимость $\mu = f(Re)$ для кольцевых сопел №8-9.

Обработка опытных данных, полученных с использованием плана Бокса-Бенкина, позволяет получить математическую модель зависимости $\mu = f(\gamma', \Gamma_c, Re)$ в виде уравнения второго порядка:

$$\mu = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4)$$

и с учетом статистической значимости:

$$\mu = 0,978 - 0,0072x_1 + 0,9345x_2 + 0,0038x_3 + 0,016x_1x_2 + 0,0025x_1x_3 + 0,005x_2x_3 - 0,0127x_1^2 + 0,00277x_2^2 + 0,0048x_3^2 \quad (5)$$

Анализ коэффициентов уравнения (5) показывает что, на величину коэффициента расхода μ наименьшее влияние оказывает число Рейнольдса (Re) в принятом диапазоне варьирования.

При максимальном числе Рейнольдса ($Re = 9 \cdot 10^3$) в исследуемом диапазоне варьирования факторов уравнение (5) примет вид:

$$\mu = 0,057 - 0,0047x_1 + 0,0395x_2 + 0,016x_1x_2 - 0,0127x_1^2 - 0,0277x_2^2 \quad (6)$$

Обработка уравнения (6) методами линейной алгебры показало, что полученная зависимость $\mu = f(\gamma', \bar{l}_c)$ может быть представлена в виде поверхности эллипсоидного типа.

Максимальное значение величины μ достигается в центре поверхности при $\gamma' = 76^\circ$ и $\bar{l}_c = 5,4$. Как видно из рисунков 5, 6 и 7 в соплах, где $\bar{l}_c = 0$, наблюдается существенное снижение коэффициента расхода μ .

Выводы:

С учетом анализа, выполненного по результатам планирования эксперимента, при конструировании насадков струйных насосов с кольцевой двухповерхностной рабочей струей предлагается применить:

- угол конусности внешнего насадка $\gamma' = (70^\circ - 80^\circ)$;
- относительную длину цилиндрической части $\bar{l}_c = (5 - 6)$;
- число Рейнольдса в пределах $4 * 10^3 - 9 * 10^3$;

Коэффициенты расхода и гидравлического сопротивления рекомендуются по результатам опытов:

$$\mu = (0,97 - 0,98); \xi_0 = (0,04 - 0,06).$$

Библиографический список

1. А.с. 1620693 СССР. Струйный насос [Текст] / С.А. Тарасьянц [и др.] Оpubл. 15.01.91. Бюл. №2.
2. Мускевич, Г.Е. Определение КПД гидроэлеваторов и водоструйных установок [Текст]: жур. Гидротехника и мелиорация/ ноябрь.- 1974.
3. Фридман В.Э. Гидроэлеваторы [Текст]. - М.: Машгиз, 1990. - с.142
4. Бородзич В.Н. Использование водоструйных насосов для разработки подводных грунтов [Текст]. - Речной транспорт, 1956. - с. 16.
5. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы и другие струйные аппараты [Текст]. - М.: Машстройиздат, 1950. - с. 58.
6. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве [Текст]. - М.: Машстройиздат, 1964. - с. 58.
7. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст]. - М.: Статистика, 1981. - с.48.