

УДК 621.69

К. А. Михалев, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

А. Н. Шельпяков, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ЭЖЕКТОРНОГО УСТРОЙСТВА

Рассматривается влияние геометрических параметров на характеристики вихревого эжекторного устройства, определяются значения параметров.

Ключевые слова: моделирование, эжектор, размеры, вихревое течение.

Широкое применение эжекторных устройств в различных отраслях промышленности ставит перед конструкторами задачи повышения эффективности, улучшения характеристик эжекторов. Так как при эксплуатации эжектора имеет место ограниченность рабочей среды, единственным возможным вариантом повышения эффективности эжекторов выступает совершенствование конструкции.

В процессах эжектирования выделяют активный поток, формируемый расходом рабочей среды, подаваемой под давлением, и пассивный поток, засасываемый в область эжектора и перемещаемый вместе с активным потоком.

Одной из важнейших задач при проектировании эжекторных устройств является повышение их эффективности, которая может быть отражена соотношением расходов пассивной (эжектируемой) и активной (эжектирующей) сред – коэффициентом эжекции:

$$K_{\text{Э}} = \frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{А}}},$$

где $Q_{\text{П}}$ – величина расхода пассивной среды; $Q_{\text{А}}$ – величина расхода активной среды.

При проектировании эжекторных устройств значительная роль уделяется определению геометрических параметров внутренней полости устройства, отвечающих максимальной производительности.

При проведении исследований различных типов эжекторных устройств ранее было установлено, что наибольшей эффективностью обладает струйный эжектор с центральным и кольцевым пассивными каналами и тангенциальным подводом рабочей среды (рис. 1). Продолжение исследований требует определения оптимальных геометрических параметров эжектора при постоянных условиях эксплуатации.

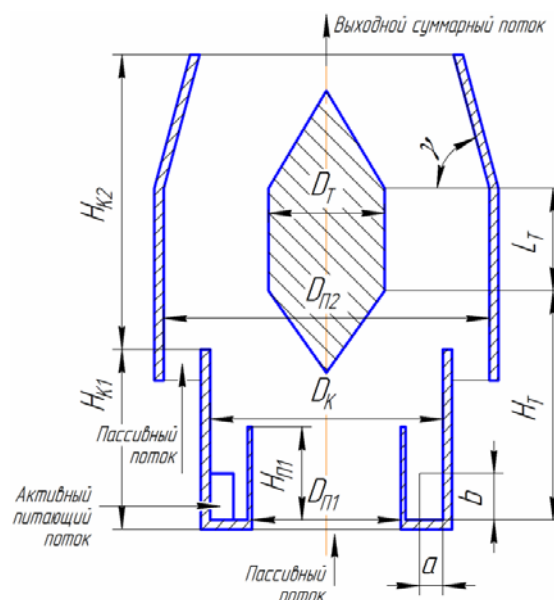


Рис. 1. Схема вихревого эжекторного устройства

При исследовании вихревого эжекторного устройства рассмотрены геометрические параметры, представленные на рис. 1 и приведенные в табл. 1.

При проведенных ранее исследованиях вихревого эжекторного устройства были определены допустимые диапазоны геометрических параметров.

Пределы изменения значений параметров ограничены конструктивными возможностями и проведенными ранее исследованиями.

Так как количество геометрических параметров достаточно велико, вследствие чего не представляется возможным провести множество натурных испытаний, исследования проведены с помощью программной системы конечно-элементного анализа вычислительной гидродинамики Ansys CFX с использованием параметрической трехмерной модели проточной части эжектора.

Этап 1. Установление влияния геометрических параметров.

Так как количество возможных сочетаний геометрических параметров очень велико, с помощью встроенного инструмента Ansys CFX Goal Driven Optimization произведен предварительный расчет для

500 вариантов, по которым произведена оценка влияния каждого параметра.

В табл. 2 представлены семь результатов, отвечающие наибольшим значениям коэффициента эжекции при постоянном значении $D_K = 50$ мм.

Таблица 1. Параметры исследований вихревого эжекторного устройства

Параметр	Обозначение	Значения
Геометрические параметры		
Высота камеры смещения	H_{K1}	25...75 мм
Диаметр пассивного канала	$D_{П1}$	2...44 мм
Глубина входа пассивного канала	$H_{П1}$	10...30 мм
Сечение канала питания	$a \times b$	1×2...10×20 мм
Длина канала питания	l	20...35 мм
Угол раскрытия камеры смещения	γ	70...115 град.
Диаметр камеры смещения	D_K	50 мм
Диаметр наружного пассивного канала	$D_{П2}$	60...100 мм
Расстояние до тела	H_T	62...73 мм
Диаметр тела	D_T	26...56 мм
Условия проведения исследований		
Полное давление активной среды на входе в вихревую камеру	P_A	100 кПа
Статическое давление пассивной среды	$P_{П}$	0 Па
Статическое давление на выходе из вихревой камеры	$P_{ВЫХ}$	0 Па
Определяемые значения		
Массовый расход активной среды, кг/с	Q_A	–
Массовый расход пассивной среды, кг/с	$Q_{П}$	–
Коэффициент эжекции	$K_э$	–

Таблица 2. Результаты предварительных исследований

Наименование параметра	Обозн.	Значение							
		37,74	25,91	26,45	27,90	28,36	30,83	31,54	
Высота камеры смещения, мм	H_{K1}	37,74	25,91	26,45	27,90	28,36	30,83	31,54	
Диаметр пассивного канала, мм	$D_{П1}$	36,94	25,66	33,42	36,36	36,34	24,62	18,44	
Глубина входа пассивного канала, мм	$H_{П1}$	10,84	15,75	12,69	29,98	12,23	25,18	23,05	
Сечение канала питания, мм	$a \times b$	4,36 × 8,72	5,04 × 10,08	7,24 × 14,48	4,85 × 9,7	4,35 × 8,7	5,31 × 10,62	5,34 × 10,68	
Угол раскрытия камеры смещения, град.	γ	90,00	86,11	72,44	74,13	96,75	89,51	70,22	
Диаметр наружного пассивного канала, мм	$D_{П2}$	63,76	94,56	97,98	97,14	72,24	75,86	98,16	
Расстояние до тела, мм	H_T	72,88	68,29	70,27	64,71	62,33	62,70	72,32	
Диаметр тела, мм	D_T	32,62	31,84	43,46	31,24	32,04	34,80	41,22	
Массовый расход активной среды, кг/с	Q_A	0,0289	0,0403	0,0754	0,0346	0,0288	0,0455	0,046	
Массовый расход пассивной среды, кг/с	$Q_{П}$	0,0773	0,1046	0,1699	0,0797	0,0629	0,0633	0,056	
Коэффициент эжекции	$K_э$	2,67	2,59	2,25	2,29	2,18	1,38	1,2	

В результате предварительных исследований установлено следующее.

– Высота камеры смещения H_{K1} не оказывает значительного влияния на характеристики эжектора. Наилучшие результаты при этом были установлены при значениях 25...30 мм. В результате для дальнейших исследований принято значение $H_{K1} = 30$ мм.

– Увеличение диаметра пассивного канала $D_{П1}$ имеет положительный характер. Однако для достижения наибольших значений расхода пассивной среды канал ее подвода должен быть ограничен размерами пограничного слоя вихревого течения. Для выполнения этого условия принято значение $D_{П1} = 32$ мм.

– Глубина входа пассивного канала $H_{П1}$ по сути разделяет наиболее скоростной вихревой поток от прямолинейного канала пассивного потока. Малое значение параметра приводит к срыву пассивного потока и незначительному расходу пассивной среды. Большое значение параметра приводит к тому,

что пассивный и активный поток смешиваются в зоне с меньшей энергией активного потока. Для дальнейших исследований принято значение $H_{П1} = 20$ мм.

– Сечение канала питания $a \times b$ играет наиболее важную роль в характеристиках устройства. Наименьшее значение сечения канала позволяет добиться высокого коэффициента эжекции за счет малого расхода активной среды, однако значение расхода пассивной среды хотя и будет высоким в отношении к значению расхода активной среды, в качественном отношении он будет исключительно мал. Большое значение сечения канала приводит к перерасходу активной среды, не повышая при этом эффективность работы устройства. После предварительных испытаний решено изменить пределы $a \times b = 4 \times 8 \dots 8 \times 16$ мм.

– Длина канала питания l не оказала никакой практической значимости на работу устройства, по-

этому она остается исключительно технологической величиной.

– Угол раскрытия камеры смешения γ имеет некоторое влияние. Наилучшие результаты получены при значениях $\gamma = 72 \dots 96$ градусов. Для определения необходимого значения угла расширения требуется проведение дальнейших исследований.

– Диаметр камеры смешения D_K принят постоянным. В результате исследований относительно D_K будут представлены все остальные геометрические параметры.

– Диаметр наружного пассивного канала $D_{П2}$ влияет на величину расхода пассивной среды через наружный кольцевой канал подвода. Однако предварительные исследования не позволили выявить влияние $D_{П2}$ на расходные характеристики устройства. Ввиду этого значения параметра не изменены.

– Расстояние до тела H_T в исследуемых пределах не оказало значительного влияния на изменение характеристик камеры. Таким образом, в дальнейшем примем значение этого параметра равное 65 мм.

– Диаметр тела D_T оказал значительное влияние на характеристики устройства. С увеличением тела перекрывается выходной участок устройства и, соответственно, возрастает сопротивление потока. Узкое тело приводит к образованию противотоков, также негативно влияющих на течение. В результате интервал значений диаметра тела несколько изменен: 30...44 мм.

Этап 2. Определение требуемых значений геометрических параметров.

В результате предварительных экспериментов пять из девяти параметров не оказали значительного влияния на характеристики устройства и впоследствии приняты постоянными. Четыре параметра требуют дальнейшего уточнения.

При постоянных условиях проведения исследований (табл. 1) для определения значений геометрических параметров, по аналогии с предварительными исследованиями, проведен расчет 150 возможных сочетаний геометрических вариантов. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты исследований второго этапа

Сечение канала питания, мм	Угол раскрытия камеры смешения, град.	Диаметр наружного пассивного канала, мм	Диаметр тела, мм	Массовый расход активной среды, кг/с	Массовый расход пассивной среды, кг/с	Коэффициент эжекции
$a \times b$	γ	$D_{П2}$	D_T	Q_A	Q_P	K_3
4 × 8	90	96	34	0,0246	0,1006	4,079
4,01 × 8,02	89,35	99,26	34,1	0,0248	0,1009	4,053
4,02 × 8,04	90	100	38	0,0252	0,102	4,051
4 × 8	90	96	38	0,0247	0,099	4,018
4,01 × 8,02	90	96	38	0,0249	0,099	4,004
4 × 8	90	96	36	0,0247	0,0986	3,996
4,01 × 8,02	90	96	34	0,0249	0,0989	3,975
4,25 × 8,5	90,36	99,66	26,36	0,0279	0,1102	3,944
4,37 × 8,74	91,11	99,84	37,28	0,0287	0,1085	3,778
4,07 × 8,14	88,35	97,80	30,46	0,0263	0,0983	3,736
4,16 × 8,32	89,57	92,48	39,96	0,0273	0,1016	3,718
4,08 × 8,16	89,96	88,76	36,68	0,0263	0,0953	3,614
5 × 10	90	100	35	0,0385	0,1333	3,457
4,25 × 8,5	90,23	88,14	26,02	0,0278	0,0957	3,435
4,23 × 8,46	88,32	90,64	33,28	0,0273	0,0936	3,422
4,69 × 9,38	91,22	94,46	27,4	0,0336	0,1135	3,372
4,05 × 8,1	94,95	96,58	28,86	0,0258	0,0861	3,329
4,13 × 8,26	89,40	81,58	28,62	0,0267	0,0836	3,121
6 × 12	90	100	35	0,052	0,1572	3,024
7 × 14	90	100	35	0,066	0,1824	2,762
5 × 10	90	100	26	0,0384	0,0982	2,552
8 × 16	90	100	35	0,0859	0,2155	2,507
5 × 10	90	100	35	0,0386	0,0967	2,503

По результатам исследований второго этапа установлено следующее.

– Сечения канала питания $a \times b$, обеспечивающие наибольшую эффективность при наибольшем значении массового расхода пассивной среды для данной конструкции эжектора, находятся в пределах $4 \times 8 \dots 5 \times 10$ мм. Однако, как видно из рис. 2, массовый расход пассивной среды растет при увеличении сечения канала питания.

– Наилучшие результаты достигнуты при величине угла раскрытия камеры смешения γ близкой к 90 гра-

дусам. Вследствие этого можно утверждать, что камера смешения должна иметь цилиндрическую форму.

– Величина диаметра наружного пассивного канала $D_{П2}$, как при проведении предварительных исследований, так и при проведении окончательных исследований, стремилась к наибольшему значению.

– Величина диаметра центрального тела D_T , как видно из табл. 2 и 3, имеет наибольшее влияние на характеристики устройства. В результате проведенных исследований радиус тела принимается из интервала 34...38 мм.

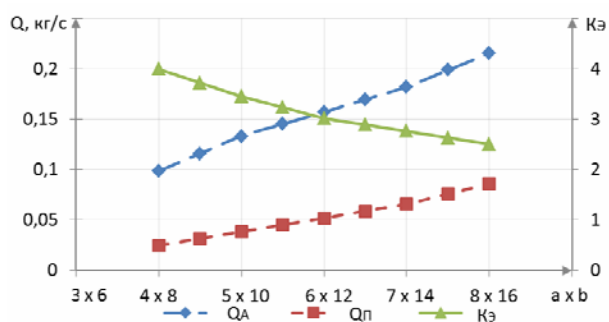


Рис. 2. Влияние сечения канала питания на расходные характеристики вихревого эжекторного устройства

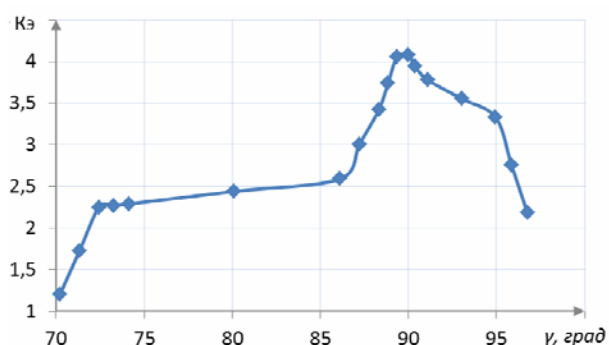


Рис. 3. Влияние величины угла раскрытия камеры смещения на коэффициент эжекции вихревого эжекторного устройства

В результате проведенных исследований определены геометрические параметры и расходные характеристики вихревого эжекторного устройства с коль-

цевым каналом. В табл. 4 представлены значения параметров, полученные на различных этапах выполнения исследований.

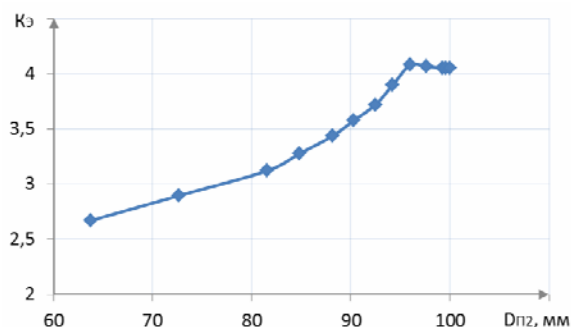


Рис. 4. Влияние диаметра наружного пассивного канала на коэффициент эжекции вихревого эжекторного устройства

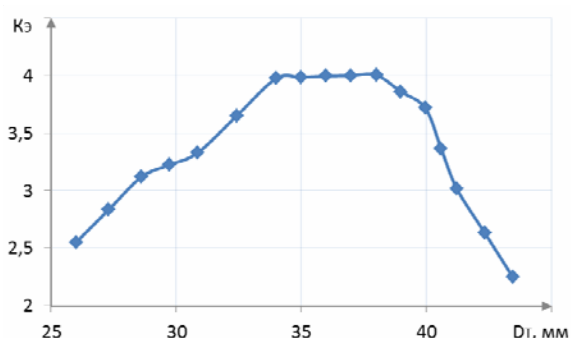


Рис. 5. Влияние диаметра тела на коэффициент эжекции вихревого эжекторного устройства

Таблица 4. Значения геометрических параметров при проведении исследований

Параметр	Обозн.	Значение первоначальное	После предварительных исследований	Результат исследований	В отношении к диаметру вихревой камеры D_K
Диаметр камеры смещения	D_K	50 мм	50 мм	50 мм	$1 D_K$
Высота камеры смещения	H_{K1}	25...75 мм	30	30	$0,6 D_K$
Диаметр пассивного канала	$D_{П1}$	2...44 мм	32	32	$0,64 D_K$
Глубина входа пассивного канала	$H_{П1}$	10...30 мм	20	20	$0,4 D_K$
Сечение канала питания*	$a \times b$	$1 \times 2 \dots 10 \times 20$ мм	$4 \times 8 \dots 8 \times 16$ мм	$4 \times 8 \dots 5 \times 10$ мм	$0,128 \dots 0,16 D_K$
Угол расширения камеры смещения	γ	70...115	72...96	90	—
Диаметр наружного пассивного канала	$D_{П2}$	60...100 мм	60...100 мм	96 мм	$1,92 D_K$
Расстояние до тела	H_T	62...73 мм	65 мм	65 мм	$1,3 D_K$
Диаметр тела	D_T	26...56 мм	30...44 мм	34...38 мм	$0,68 \dots 0,76 D_K$

* Сечение прямоугольного канала питания приведено к круглому.

Полученные в результате исследований геометрические параметры являются оптимальными для вихревого эжекторного устройства. Сохраняя пропорции, представленные в табл. 4, возможно дости-

жение наибольшей эффективности эксплуатации эжекторного устройства при сохранении достаточной степени производительности по расходу пассивной среды.

K. A. Mikhalev, Post-graduate, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University
A. N. Shelpyakov, PhD in Engineering, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Determination of Optimal Geometric Parameters of Vortex Ejector

The influence of geometrical parameters on characteristics of the vortex ejector is considered, values of these parameters are determined.

Key words: modeling, ejector, measurements, vortex flow.