

Приборы и оборудование

УДК 621.694.2

Бутенко А.Г., канд. техн. наук, доцент, Смык С.Ю.

*Одесский национальный политехнический университет
просп. Шевченко, 1, 44065 Одесса, Украина, e-mail: ori@ori.ua*

Повышение эффективности работы центральных эжекторов

Путем математического и физического моделирования изучена кинематическая структура потока в центральном эжекторе, работающем при низких коэффициентах эжекции. Показано, что в некоторой области значений коэффициента эжекции и модуля струйного насоса у стенок его камеры смешения возникают зоны обратных течений. Определены геометрические параметры этих зон. Диссипативные процессы в них существенно снижают эффективность работы эжектора. Методом численного моделирования доказано, что изменение формы проточной части камеры смешения замещением зон обратных течений твердой поверхностью позволяет существенно сократить гидравлические потери. Такое конструктивное изменение существенно (до 11 %) увеличивает коэффициент полезного действия струйного аппарата. Эффект возрастания коэффициента полезного действия наблюдается в достаточно широком диапазоне значений коэффициента эжекции. Полученные результаты подтверждены экспериментально. *Библ. 4, рис. 4.*

Ключевые слова: эжектор, камера смешения, модуль эжектора, коэффициент полезного действия, коэффициент эжекции, тело замещения.

Струйные эжекторы широко используются в технологичных процессах и производствах в качестве нагнетательного и смешивающего оборудования. Основным их недостатком является сравнительно низкий коэффициент полезного действия [1, 2]. Проблема эффективности усугубляется, если на характеристики аппарата накладываются дополнительные условия или ограничения, связанные с особенностями технологического процесса. Так, для эжектора — смесителя комбинированной системы очистки воздуха от дисперсных пылевых частиц — таким технологическим условием являются низкие коэффициенты эжекции q , а следовательно, пониженные значения КПД η [3].

Цель данного исследования — повышение эффективности центральных эжекторов, работающих с низкими q .

Конструкция струйных аппаратов обеспечивает отсутствие в них механических и объемных потерь. Все потери относятся к категории гидравлических, поэтому пути повышения КПД следовало искать в оптимизации гидродинамических процессов, происходящих в элементах струйного аппарата.

Исследование на первом этапе проводилось методом численного моделирования с помощью прикладного пакета SOLID WORKS COSMOS FLO, в котором используется k - ε -модель турбулентности [4]. На втором этапе полученные результаты проверялись на физической модели. Рассматривались аппараты с модулем $m = A_{\text{КС}}/A_{\text{С}} = 5, 7, 9, 11$ (где $A_{\text{КС}}$, $A_{\text{С}}$ — площади сечения камеры смешения и сопла). По результатам численного моделирования рассчитывались такие показатели:

– коэффициент эжекции

$$q = Q_{эж} / Q_p;$$

– коэффициент напора

$$h = (H_{см} - H_{эж}) / (H_p - H_{эж});$$

– коэффициент полезного действия

$$\eta = q h / (1 - h),$$

где $Q_p, Q_{эж}$ – объемные расходы рабочего и эжектируемого потоков, m^3/c ; $H_p, H_{эж}, H_{см}$ – полные напоры рабочего, эжектируемого и смешанного потоков, м.

По результатам расчетов строились графики зависимости относительных показателей $h = f(q)$ и $\eta = f(q)$. Они с хорошей точностью соответствуют опытными данным, приведенными в работе [2], что позволило сделать вывод об адекватности проводимого численного моделирования. Исследование кинематической структуры потока в камере смешения (КС) показали, что при малых коэффициентах эжекции в ней возникают зоны обратного течения, то есть происходит отрыв потока от стенок канала. На рис.1 в качестве примера приведены изолинии осевой составляющей скорости в КС эжектора с $m = 11$, работающего с $q = 0,25$.

Аналогичная кинематическая структура течения характерна для аппаратов с $m = 5, 7, 9$. Обработка результатов позволила определить область параметров $m - q$, при которых течение в КС сопровождается отрывом потока. На рис.2 указанная область находится слева от кривой, характеризующей такое сочетание модуля и коэффициента эжекции, при котором зарождается отрывная зона. Причем чем левее от кривой находится точка, соответствующая режиму работы эжектора, тем более развита отрывная зона.

Очевидно, что на поддержание циркуляционного течения в отрывных зонах затрачивается часть энергии потока. Исключить возникающие таким образом потери можно устранением этих зон. Это сделано за счет перепрофилирования КС введением в нее тел замещения (ТЗ), кото-

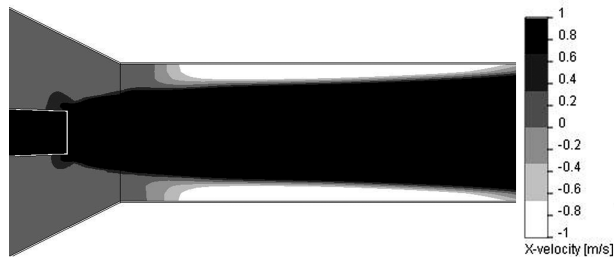


Рис.1. Изолинии осевой составляющей скорости в камере смешения эжектора с $m = 11, q = 0,25$.

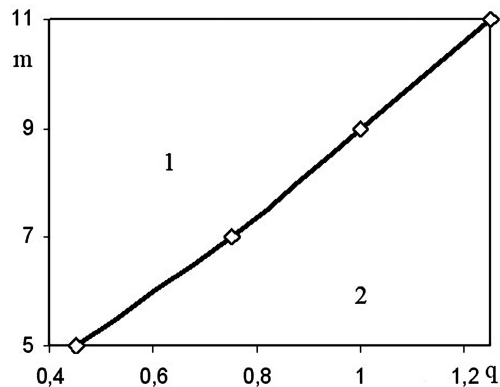


Рис.2. Области работы эжектора: 1 – отрывной режим; 2 – безотрывной режим.

рые повторяют контуры зон отрыва и не допускают их появления. Моделирование позволило установить контуры отрывных зон (см. рис.1), а следовательно, геометрические параметры ТЗ (контуры совпадают с изолинией $u_x = 0$).

Численное моделирование эжекторов с ТЗ показало, что, во-первых, происходит возрастание коэффициента напора и КПД аппарата, во-вторых, возникают небольшие остаточные отрывные зоны в тыльной части ТЗ. Поэтому размеры ТЗ уточнялись, и расчеты повторялись такое количество раз, которое необходимо для полного исключения отрыва. При этом оказывалось достаточно двух-трех итераций. В каждом последующем расчете размеры области остаточного отрыва уменьшались, а h и η эжектора несколько возрастали.

По такой методике для струйных аппаратов с указанными четырьмя модулями и для коэффициентов эжекции $q = 0,10; 0,25; 0,50; 0,75;$

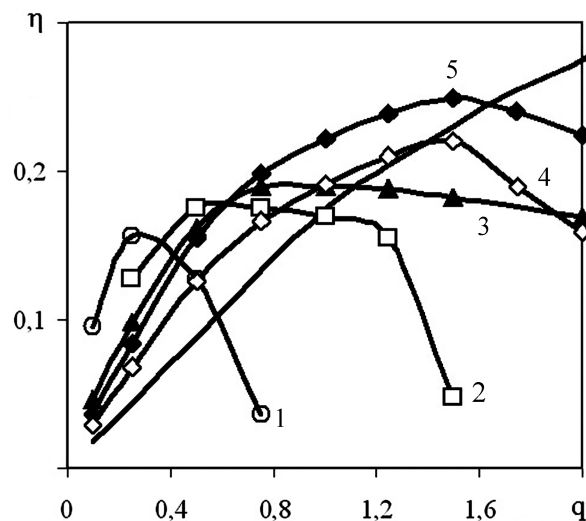


Рис.3. Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента эжекции для аппарата с $m = 11$ (сплошная линия – эталонные значения) при разных значениях ТЗ: 1 – 0,1; 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 0,75; 5 – 1,0.

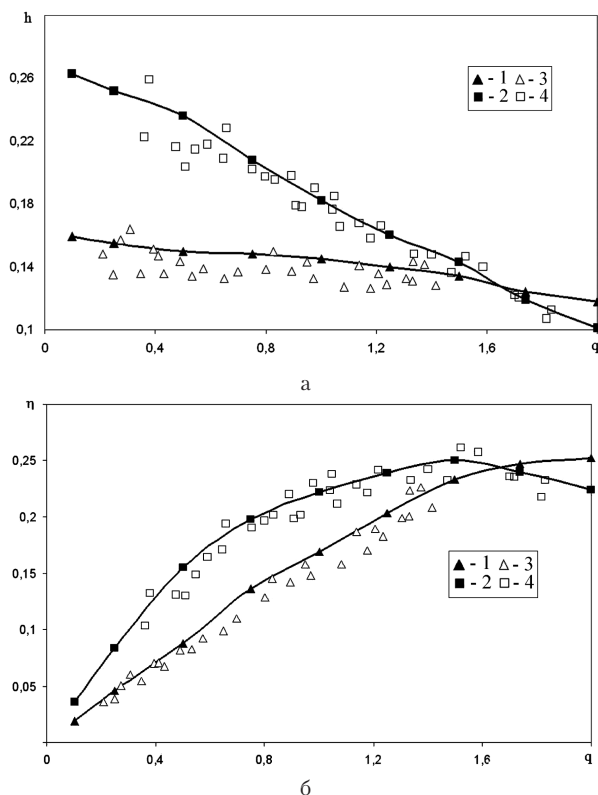


Рис.4. Зависимость коэффициента напора (а) и КПД (б) от коэффициента эжекции для аппарата с $m = 11$ для $q_p = 1$. Результаты численного (1, 2) и физического (3, 4) моделирования эжектора без ТЗ (1, 3) и с ТЗ (2, 4).

1,0 были найдены геометрические параметры ТЗ, обеспечивающие наибольшее значение КПД. Представление этих параметров в относительном виде позволяет легко рассчитывать форму ТЗ центральных эжекторов разных размеров.

Оказалось, что повышение эффективности происходит не только при расчетном значении коэффициента эжекции q_p , но и в достаточно широких его окрестностях (рис.3). Причем максимальное возрастание КПД по сравнению с обычной КС наблюдается с ТЗ для малых q_p (до 11 %), а наиболее широкая по q область улучшения работы — с ТЗ для больших q_p . Объясняется это тем, что введение ТЗ в КС имеет двоякий эффект: с одной стороны это исключает потери энергии, связанные с отрывом потока, а с другой — увеличивает потери на трение. Чем меньше коэффициент эжекции при прочих равных условиях, тем больше отрывная зона (соответственно и ТЗ) и тем больший эффект от ее замещения. В этом случае снижение гидравлического сопротивления отрывных зон значительно превышает дополнительное сопротивление трения, вызванное присутствием ТЗ. С увеличением q по сравнению с q_p размеры отрывных зон уменьшаются, а следовательно,

размеры ТЗ становятся излишними — положительный эффект от ТЗ снижается, а потери энергии на гидравлическое трение растут. Чем больше относительные размеры ТЗ, тем уже диапазон режимов работы, при котором суммарный эффект является положительным.

На втором этапе исследований результаты численного моделирования проверялись экспериментально. Для этого в соответствии с правилами проведения гидравлического эксперимента был спроектирован и построен экспериментальный стенд, основным элементом которого является центральный эжектор, размеры которого в точности соответствуют размерам модели в SolidWorks. Физическое моделирование проводилось в автономной области по числу Рейнольдса.

Были изготовлены тела замещения для эжекторов с модулями 7, 9 и 11. После проверки стенда на воспроизводимость проведены опыты, результаты которых подтвердили результаты численного моделирования (в качестве примера на рис.4 приведены графики $h = f(q)$ и $\eta = f(q)$ для $m = 11$ и $q_p = 1$).

Выводы

Показано, что при работе центральных эжекторов при малых коэффициентах эжекции в камере смешения возникают отрывные зоны, существенно влияющие на эффективность струйного аппарата. Повысить эффективность центральных эжекторов, работающих с низкими коэффициентами эжекции, можно за счет устранения этих зон вследствие изменения профиля проточной части камеры смешения. Определены формы тел замещения, зависящие от модуля эжектора и ожидаемого коэффициента эжекции. Показано, что положительный эффект от введения тела замещения происходит в достаточно широком интервале коэффициента эжекции.

Список литературы

1. Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. Расчет струйных насосов и установок // Труды Всесоюз. науч.-исслед. гидромашиностроит. ин-та. — 1968. — Вып. 38. — С. 44–96.
2. Дунчевский Г.М. Гидравлический расчет гидроструйных насосов и систем. Теория, справочный материал, программное обеспечение. — Одесса : Одес. полтехн. ин-т, 1992. — Ч. 1, 2.
3. Бутенко А.Г., Смык С.Ю. Комбинированная система очистки воздуха // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 6. — С. 66–69.
4. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — СПб. : ВХВ-Петербург, 2005. — 800 с.

Поступила в редакцию 02.04.13

Бутенко О.Г., канд. техн. наук, доцент, Смик С.Ю.

Одеський національний політехнічний університет
просп. Шевченка, 1, 44065 Одеса, Україна, e-mail: opu@opu.ua

Підвищення ефективності роботи центральних ежекторів

Шляхом математичного та фізичного моделювання досліджувалася кінематична структура потоку у центральному ежекторі, що працює при низьких коефіцієнтах ежекції. Показано, що в певній області значень коефіцієнта ежекції та модуля струйного насоса біля стінок його камери змішування виникають зони зворотніх течій. Визначено геометричні параметри цих зон. Дисипативні процеси у них суттєво знижують ефективність роботи ежектора. Методом числового моделювання доведено, що зміна форми проточної частини камери змішування заміщенням зон зворотніх течій твердою поверхнею дозволяє суттєво скоротити гідравлічні втрати. Така конструктивна зміна суттєво (до 11 %) збільшує коефіцієнт корисної дії струмінного апарата. Ефект зростання коефіцієнта корисної дії спостерігається у достатньо широкому діапазоні значень коефіцієнта ежекції. Отримані результати підтверджено експериментально. *Бібл. 4, рис. 4.*

Ключові слова: ежектор, камера змішування, модуль ежектора, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт ежекції, тіло заміщення.

**Butenko A.G., Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Smyk S.Yu.**

Odessa National Polytechnic University
1, Shevchenko Prosp., 44065 Odessa, Ukraine, e-mail: opu@opu.ua

Increase of Central Ejector Operation Efficiency

The kinematic structure of the flow in the central ejector operating at low coefficients of ejection has been investigated by means of mathematical and physical modeling. It is shown that backflow zones occur in some range of ejection coefficient and jet pump module at its mixing chamber walls. The geometric parameters of these zones have been defined. Dissipative processes in them significantly reduce the efficiency of the ejector. Numerical simulation proved that the change in shape of the flow part of the mixing chamber by replacing the backflow zones for a solid surface significantly reduces hydraulic losses. This constructive change significantly (to 11 %) increases the efficiency of the jet apparatus. The effect of increasing efficiency is observed in a reasonably wide range of ejection coefficient values. The obtained results have been validated experimentally. *Bibl. 4, Fig. 4.*

Key words: ejector, mixing chamber, module ejector, efficiency, ejection coefficient, body replacement.

References

1. Podvidz L.G., Kirillovskij Ju.L. (1968). The calculation of the jet pumps and installations. *Trudy Trudy Vsesojuznogo nauchno-issledovatel'skogo gidromashinostroitel'nogo instituta.* — Vyp. 38. — pp. 44–96. (Rus.)
2. Dunchevskij G.M. (1992). Hydraulic calculation of jet pumps and systems. Theory, reference material, software. — Odessa : Odesskiy Polytechnicheskij Institut, Pt. 1, 2 (Rus.)
3. Butenko A.G., Smyk S.Ju. (2010). The combined system of air purification. *Energotekhnologii i resursosberezhenie*, (6), pp. 66–69. (Rus.)
4. Aljamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V. (2005). SolidWorks. Computer modeling in engineering practice. — Sankt-Peterburg : VHV-Peterburg, 800 p. (Rus.)

Received April 2, 2013