

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ЭЖЕКТОРНОГО НАСОСА

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Бабук В.В.*

Несмотря на внешнюю простоту устройства пароструйного эжектора (рисунок 1), происходящие в нем термо- и газодинамические процессы сложны и до сих пор не выяснены полностью. Изучению особенностей этих процессов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Основная задача исследований – создание метода расчета и конструирования пароструйных эжекторов.

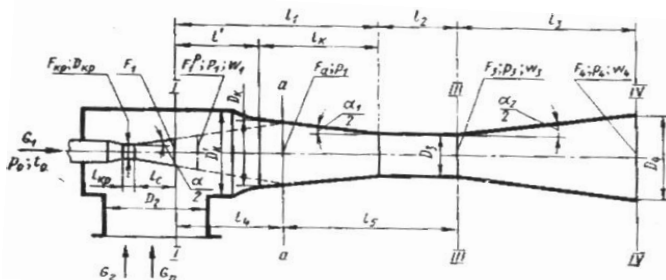


Рисунок 1 – Схема к расчету эжектора

В данной научно-исследовательской работе будет проведена оценка методов расчёта для определения оптимального значения основного геометрического параметра пароструйного эжекторного насоса с целью определения простого и наименее громоздкого метода из представленных.

В основе теоретического метода расчёта лежит рассмотрение эжектирующего и эжектируемого потоков на входе в камеру смешения, как двух отдельных потоков.

Определение параметров эжектора производится при этом с помощью основных уравнений газовой динамики, записанной для начального и конечного сечений камеры смешений. Учитывая сложность газодинамических процессов в сверхзвуковом эжекторе в эмпирической методике расчёта не выводятся громоздкие расчётные уравнения, а основан на результатах исследования большого количества пароструйных эжекторов, наиболее полно разработано Вигандом.

Основной геометрический параметр  $m$  определяют в следующем порядке. Задаются несколькими значениями коэффициента эжекции  $q_r$ , для которых по формулам:

$$k_3 = \frac{q_2 k_r}{1 + q_2 + q_n}, \quad (1)$$

$$p_3 = \frac{p^4}{1 + \frac{\varphi k_3 M_3^2}{2}}, \quad (2)$$

$$p_{3-n} = \frac{p_3}{1 + \frac{q_2 R_2}{(1 + q_n) R_n}}, \quad (3)$$

определяют соответственно показатель адиабаты  $k_3$ , давление смеси  $p_3$  в конце цилиндрического участка диффузора и парциальное давление пара  $p_{3-n}$  в этом сечении. Параметры состояния смеси в сечении ///—/// рассчитывают по уравнению

$$i_0 + q_n i_n + q_2 c_{n2} t_3 = q_2 c_{n2} t_3 + (1 + q_n) i_3 + (1 + q_n + q_2) \frac{A w_3^2}{2g}, \quad (4)$$

находя по термодинамическим таблицам свойств водяного пара такие значения  $i_3$  и  $t_3$  при давлении  $p_{3-n}$  при постановке которых, уравнение превращается в тождество. По известным параметрам состояния смеси, используя выражения

$$R_{c.m.} = \frac{(G_1 R_n + G_n R_n + G_n R_2 - R_n(1 + q_n) + R_2 q_2)}{G_1 + G_n + G_2} = \frac{R_n(1 + q_n) + R_2 q_2}{v_1 w_3}, \quad (5)$$

$$a_3 = \sqrt{k_3 g R_{c.m.} T_3}, \quad (6)$$

$$\omega_3 = M_3 a_3, \quad (7)$$

$$v_3 = \frac{R_{cm} T_3}{p_3}, \quad (8)$$

определяют соответственно газовую постоянную  $R_{cm}$ , местную скорость звука  $a_3$ , скорость смеси  $\omega_3$  и удельный объем  $v_3$ . Зная параметры состояния пара и смеси в сечениях /—/ и ///—/// для принятых коэффициентов эжекции, из уравнения

$$m = \frac{(G_1 + G_n + G_2) \gamma_1 w_1}{G_1 \gamma_3 w_3} = (1 + q_n + q_2) \frac{v_3 w_1}{v_1 w_3}, \quad (9)$$

находят величину  $m$ .

По формуле

$$p_3 = p_1 + \frac{2H_1[\delta_3 - (1 + q_n + q_2) \frac{w_3}{w_1}]}{m}, \quad (10)$$

определяют несколько значений давления  $p_3$ , которое отличается от давления смеси в конце цилиндрического участка, определенного по уравнению

$$p_3 = \frac{p_4}{1 + \frac{\varphi k_3 M_3^2}{2}}. \quad (11)$$

Такое расхождение объясняется тем, задаются произвольными значениями коэффициентов эжекции  $q_r$ .

Для определения коэффициента эжекции, удовлетворяющего всем расчетным уравнениям, строят зависимость давления  $p_3$  от коэффициента эжекции  $q_r$ ; на полученной кривой находят точку, ордината которой равна давлению  $p_3$ , полученному из уравнения (11). Абсцисса этой точки дает искомый коэффициент эжекции, для которого и определяют окончательно основной геометрический параметр в описанном порядке. Как правило, создание эмпирической методики рас-

чёта основано на стремлении использовать в инженерных расчётах опытных данных. Такие методики, конечно, не могут быть универсальными. Они основаны на подобию эжекторов определённой конструкции, работающих при определённых режимах и с определёнными рабочими средами, и поэтому применимы лишь для расчёта именно такого рода эжекторов.

Опытных методик расчёта, главным образом, пароструйных эжекторов, существует достаточно много, однако наиболее проверенной и получившей наибольшее распространение является методика Виганда. Он установил, что расход пара в эжекторе зависит от трех величин:  $p_0$ ,  $p_1$  и  $p_4$ . Для практических целей удобнее выражать расход пара в зависимости от соотношений между этими величинами, а именно, от степени расширения  $E = p_0 / p_1$  пара в сопле и степени сжатия  $\epsilon = p_1 / p_4$  парогазовой смеси в эжекторе. Следовательно, коэффициент эжекции, равный отношению расхода эжектируемой парогазовой смеси к расходу рабочего пара,

$$g_s = f(E, \epsilon). \quad (12)$$

Из этого выражения следует, что геометрически подобные эжекторы при одинаковых рабочих условиях имеют одинаковые рабочие характеристики. Проанализировав методы расчёта основного геометрического параметра пароструйного эжекторного насоса, стало очевидным, что, так как эмпирическая методика расчёта основана на результатах обобщения опыта конструирования и исследования эжекторов, то очевидно, что достоинством данного метода является простота расчёта и надёжность, а недостатком – ограниченность их применения в диапазонах, не исследованных конструкций и режимов эжекторов.

С учётом вышеизложенных замечаний наиболее целесообразным является совместное использование при инженерных расчётах эжекторных насосов, как теоретических, так и эмпирических методик. Но в учебных целях, из-за существования

сложности нахождения ряда эмпирических коэффициентов при определении основных размеров эжектора для заданных параметров в рабочей точке наиболее удобно использовать простую эмпирическую методику. Построение же характеристик насоса, анализ изменения его параметров, в зависимости от различных факторов, могут быть произведены с помощью необходимых теоретических соотношений.

УДК 621.52

Вишневский В.Ч.

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь  
Научный руководитель: Иванов И.А.*

При реализации технологических процессов в вакуумных камерах, у которых много больше двух других размеров, а газовыделение стенок и поток газов на удаленном от насоса участке рабочей камеры достаточно велики, может возникать значительная разница давлений на участках рабочей камеры. Эта проблема особенно характерна для оборудования нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме на поверхности больших площадей реактивным методом. К таким покрытиям относятся износ- и коррозионно-стойкие покрытия на листовых заготовках из сталей, антибликовые покрытия на экранах электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), энергосберегающие низкоэмиссионные покрытия на архитектурных стеклах и др.

Известные методы расчета вакуумных и газовых систем не позволяют решить вопросы анализа параметров трехмерных вакуумных камер со сложной геометрией, к которым можно отнести и технологическое оборудование для нанесения многослойных покрытий на большую площадь поверхности.

Для этих целей используют метод статистических испытаний Монте-Карло. Он позволяет провести такой анализ, и оценить,