

УДК 621.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУИ ВОДОВОЗДУШНОГО ЭЖЕКТОРА**

Устименко Т.А., доц., канд.техн. наук,

Яценко А.Ф., доц., канд. техн. наук,

Донецкий национальный технический университет

*Получена формула, позволяющая рассчитать угол расширения начального участка струи, необходимый для определения оптимальных параметров водовоздушного эжектора.*

*Was got the formula, which can show an angle of stream's beginning for determination of optimal parameters of air-water ejectors.*

***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

В настоящее время значительно растет количество устройств, использующих струю в качестве рабочего органа. Так, гидромониторы различных конструкций и назначений, формирующие непрерывную или пульсирующую струю, используются на вскрышных работах при добыче полезных ископаемых, при выполнении строительных работ (намывка дамб), в металлургии и в машиностроении для обработки деталей после литья различного рода решеток и т.д.

Исследованию незатопленной струи (основного ее участка) посвящены многочисленные работы [1,2,4]. Основными параметрами, которые определялись теоретически и экспериментально являются сила давления на преграды, угол расширения, определяющий компактность, оптимальная длина, необходимая для разрушения массива. Входными факторами являлись диаметр насадка, форма и чистота его обработки, давление перед ним.

Однако с развитием струйных аппаратов (водовоздушных эжекторов, гидроэлеваторов и т.д.) особый интерес представляет струя длиной 5-6 диаметров сопла, т.е. ее начальный участок. Это объясняется тем, что струя должна соответствующим образом вписываться в основной элемент струйного аппарата – камеру смещения. В связи с этим ставится задача на основе анализа работ по исследованию струи гидромонитора выделить основные факторы, влияющие на формирование указанного участка струи для обеспечения оптимальной работы струйного аппарата.

При постановке задачи исследования струи водовоздушного эжектора нами определены три части струи: начальная, основная и конечная.

В начальной части вдоль оси скорость струи равна  $u_0$  - скорости выхода из насадка. На основном участке скорость струи вдоль оси уменьшается, струя интенсивно насыщается воздухом, но еще остается компактной, обладая значительной энергией. Конечный участок - это интенсивный распад струи на отдельные составляющие и превращение ее в капельно-воздушный поток.

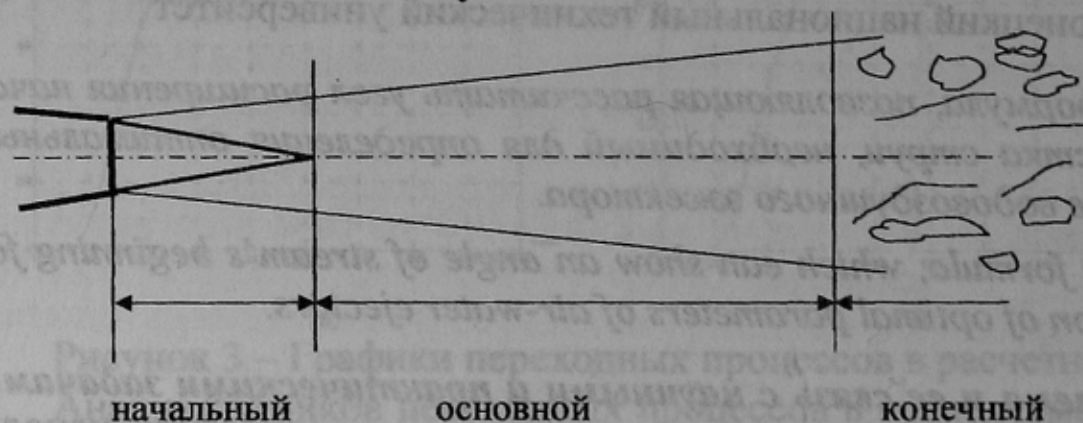


Рис.1. Основные участки струи

Начальный участок имеет небольшую протяженность (до 10 диаметров сопла) и практического интереса не представляет. Конечный участок также не представляет интереса и может быть использован в оросительных системах. Наибольшее практическое значение имеет основной участок. Его длина зависит от диаметра сопла и давления перед ним.

#### *Анализ исследований и публикаций.*

В настоящее время имеется большое количество исследования гидромониторных (незатопленных) струй [1,2,4].

При этом различные исследователи получали значения одних и тех же параметров струи значительно отличающихся друг от друга. Так, тангенс угла расширения струи колебался от 0,008 до 0,052. Это не давало возможности даже приблизительно определить параметры водовоздушного эжектора.



Рис.2. Водовоздушный эжектор

Расстояние насадка  $l$  от камеры смешения и ее диаметр определяется углом расширения начального участка струи. Правильно опре-



деленные параметры позволяют получить к.п.д. водовоздушного эжектора (до 0,25). Даже небольшое отклонение этих параметров от оптимальных в несколько раз снижает к.п.д.

**Постановка задачи.** Как отмечалось, начальный участок струи не исследован в достаточной мере. В ДонНТУ проведены теоретические и экспериментальные исследования водяной незатопленной струи с целью определения факторов, влияющих на угол расширения начального участка, а также установления зависимости, позволяющей определить этот угол расчетным путем для конструирования водовоздушных эжекторов с оптимальным значением к.п.д.

Эжектор будет транспортировать максимальное количество воздуха при условии равенства входного сечения струи (на каком-то участке камеры смешения) и сечения камеры смешения. Поэтому при расчете и конструировании водовоздушного эжектора необходимо учитывать, что расстояние от насадка до камеры смешения и длина камеры смешения должны быть такими, чтобы струя точно вписывалась в сечение камеры смешения. Для обеспечения этого условия необходимо знать закон изменения текущего диаметра струи, иными словами – угол расширения внешней границы струи.

Как показали визуальные наблюдения, угол расширения внешней границы струи не является постоянным и зависит от многих факторов и может изменяться в широких диапазонах.

Следует отметить, что в указанных источниках исследовалась гидромониторная струя или только эффективная ее часть. При исследовании водовоздушного эжектора нас интересует небольшая часть начального участка струи, т.е. длина, равная не более десяти диаметрам насадка  $l = 10d$ . Экспериментальные исследования показали, что на угол расширения существенно влияет плотность воздушной среды, вязкость жидкости, диаметр насадка, скорость истечения струи, а также форма насадка и чистота обработки его внутренней поверхности.

При движении струи в воздухе создается попутное воздушное течение, которое захватывается струей, в результате трения скорость струи уменьшается, т.к. воздушная среда оказывает сопротивление движению. На поверхности струи возникают вихри, которые служат основным механизмом втягивания воздуха и обеспечения аэрации струи. В результате чего поверхность струи расширяется, поперечное сечение возрастает и увеличивается движущаяся секундная масса, т.е. массовый расход.

Таким образом, угол расширения зависит от плотности воздушной струи  $\rho_{\text{возд}}$ , вязкости жидкости  $\mu$ , диаметра насадка  $d$ , скорости

истечения струи  $v$ , формы насадка и чистоты его внутренней поверхности. Наиболее оптимальная форма насадка – коноидальная. Коэффициент расхода достигает 0,98. Но из-за трудности изготовления наиболее часто в качестве насадков используют конические сходящиеся с коэффициентом расхода 0,94-0,95.

**Изложение материала и результаты.** Таким образом, угол расширения внешних границ струи (изменение ее текущего диаметра) является функцией следующих параметров:

$V$  - скорость

$D$  - диаметр

$\rho_{\text{возд}}$  - плотность воздуха

$\mu$  - коэффициент динамической вязкости

$g$  - ускорение свободного падения

$C$  - безразмерный коэффициент, характеризующий насадок (его форму, размеры, чистоту обработки) и условия подвода к нему жидкости.

Экспериментальными исследованиями было установлено, что угол расширения зависит от скорости  $V^{0.75}$ , и плотности воздуха  $\rho_{\text{возд}}^{0.5}$ .

Окончательная функциональная зависимость имеет вид:

$$\operatorname{tg} \alpha = f(C, d, \mu, g, v^{0.75}, \rho_{\text{возд}}^{0.5}) \quad (1)$$

Используя теорию подобия и размерности [3], определим размерности величин, входящих в функциональную зависимость:

$$[d] = [M] = [L] \quad [\mu] = \left[ \frac{H \cdot c}{M^2} \right] = [MT^{-1} L^{-1}]$$

$$[g] = \left[ \frac{M}{c^2} \right] = [LT^{-2}] \quad [v] = \left[ \frac{M}{c} \right] = [LT^{-1}]$$

$$[\rho] = \left[ \frac{KZ}{M^3} \right] = [ML^{-3}]$$

Подставим в функциональную зависимость (1) вместо обозначений размерности входящих величин

$$[0] = [L]^x [KT^{-1} L^{-1}]^y [LT^{-2}]^z [LT^{-1}]^{0.75} [KL^{-3}]^{0.5}$$

Чтобы размерности правой и левой частей была одинаковой, должны выполняться условия:

$$x - y + z - 0.75 = 0$$

$$y + 0.5 = 0$$

$$-y - 2z - 0.75 = 0$$

Решая эту систему уравнений относительно трех неизвестных, получим

$$x = 0.375, y = -0.5, z = -0.125.$$



Подставим показатели степеней в исходное уравнение и заменим размерности соответствующими обозначениями физических величин, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = c \cdot d^{0.375} \mu^{-0.5} g^{-0.125} v^{0.75} \rho_{\text{возд}}^{0.5}$$

Преобразовав уравнение, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = c \cdot \operatorname{Re}^{0.5} Fr^{0.125} \left( \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho} \right)^{0.5},$$

что означает зависимость угла расширения внешних границ струи от числа Рейнольдса (учитывает влияние скорости движения жидкости и ее вязкости), числа Фруда (влияние силы тяжести и плотности воздуха), безразмерный коэффициент  $C$  характеризует форму, размеры и чистоту обработки насадка.

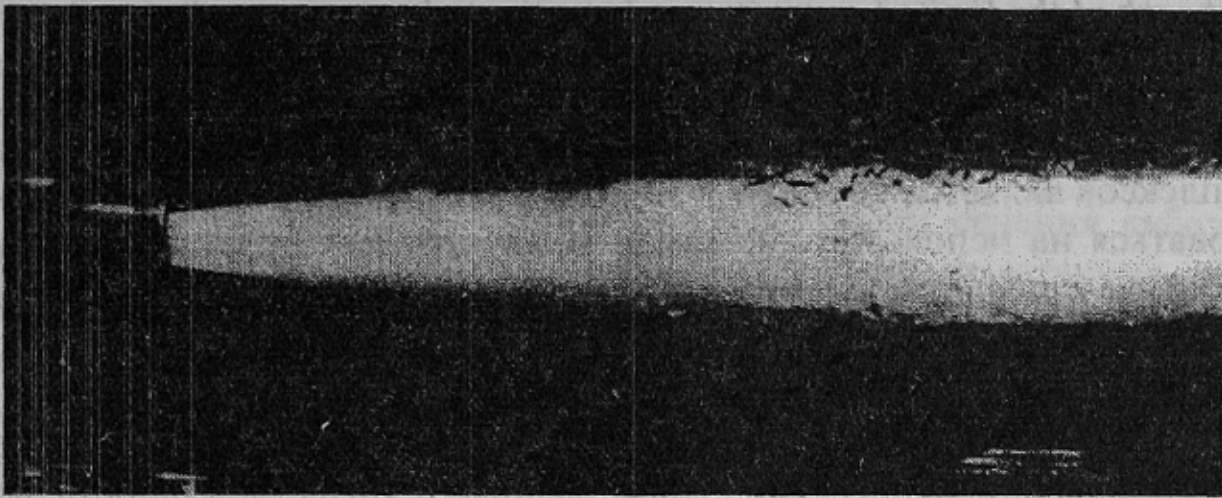


Рис.3. Стендовые испытания водовоздушного эжектора

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Результаты экспериментальных исследований показали, что полученная зависимость достаточно точно определяет угол расширения начального участка струи (до  $10d$ ). Однако работа выполнена для струй высокого давления (20-70 МПа), так как изучались водовоздушные эжекторы, применяемые в системе заполнения углесосов перед пуском.

Для получения более общих результатов необходимо провести исследования для водовоздушных эжекторов со струями малого давления (0,3-0,5 МПа), используемых в энергетике.

Список источников:

- 1 Безухов А.П. Зависимость угла раскрытия струи воды водовоздушного эжектора от количества растворенного воздуха.-М.:Современное машиностроение.Вып.2,2000.-с.56-59.
- 2 Бройд И.И. Струйная геотехнология.: Учебное пособие.-М.:Изд-во АСВ, 2004.-448с.
- 3 Веников В.А.,Веников Г.В. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электротехники.-М.:Высшая школа, 1984.-434с.
- 4 Соколов Е.Я.,Зингер Н.М. Струйные аппараты.- М.:Энергоатомиздат, 1989.

Дата поступления статьи в редакцию: 23.10.06