

14. Сепаратор: А.с. № 389816 СССР, В.А. Лефенко, А.Т. Еремин, В.П. Ермаков, А.Е. Нимцович. – Оpubл.1973. – Бюл. № 30.
15. Джигирей В.С. Экология та охорона навколишнього природного середовища: Навч. посіб. для вузів. - К.: Знання, 2000.

УДК 666.97.031

Емельянова И.А., Задорожный А. А., Меленцов Н.А.<sup>1</sup>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРКРЕТ-СОПЕЛ С КОЛЬЦЕВЫМ ВОЗДУШНЫМ НАСАДКОМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТОРКРЕТ-РАБОТ СПОСОБОМ МОКРОГО ТОРКРЕТИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Приведены конструктивные схемы торкрет-сопел с кольцевым насадком. Показаны расчетные зависимости для определения скоростей движения бетонной смеси через конфузор и диффузор. Найдена зависимость определения средневзвешенной скорости воздушно-бетонного потока и коэффициента потерь диффузора.

**Annotation.** The constructive scheme of torkret-nozzles with a ring nozzles was given. The calculated dependences for definition of speed of movement of concrete mixture through konfuzor and diffuser were shown. The dependence of determining the weighted average speed of the air-concrete flow and the ratio of losses of the diffuser was given.

При выполнении ремонтно-восстановительных работ способом “мокрого” торкретирования неоднократно использовались сопла с кольцевыми воздушными насадками. Впоследствии такие сопла применили при шприц-бетонировании на бетонных смесях с максимальной фракцией заполнителя  $d_{\max}=20\text{мм}$ .

Опыт эксплуатации малогабаритного оборудования для строительных площадок, которое разработано коллективом сотрудников на кафедре механизации строительных процессов Харьковского национального университета строительства и архитектуры на многих объектах г. Харькова и других городов Украины показал высокую эффективность работы этих сопел, с двухпоршневыми растворобетонасосами [1].

На Рис. 1а,б показаны конструктивные решения торкрет-сопел с кольцевыми насадками. Кольцевой насадок выполнен в форме диффузора.

Торкрет-сопло (Рис.1а,б) состоит из двух частей: кольцевого переходника с конфузуром, связанного с камерой смешения 3, в начале которой, сквозь кольцевую щель подается сжатый воздух из рабочей камеры 2, что способствует созданию воздушно-бетонного потока, при выходе из кольцевого воздушного насадка с диффузором.

Техническая характеристика торкрет-сопла с кольцевым насадком приведена в Таблице 1.

Общей конструктивной особенностью таких сопел является подвод сжатого воздуха через патрубок в кольцевой канал насадка 4. Это позволяет выходящий из сопла поток воздушно-бетонной смеси держать в кольце сжатого воздуха, т.е. создать концентрированную направленную струю смеси для набрызга на торкретируемую поверхность.

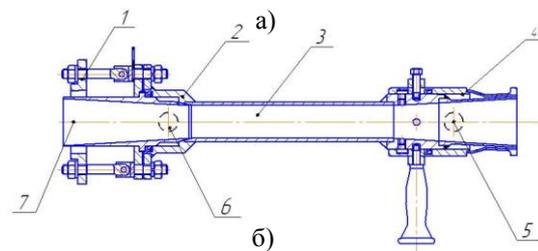


Рис. 1. Конструктивные решения торкрет-сопел с кольцевым воздушным насадком:

а) торкрет-сопло с радиально расположенными отверстиями в рабочей камере для подачи сжатого воздуха в камеру смешения.

б) торкрет-сопло с кольцевой щелью в рабочей камере.

1- обхватный замок подключения бетоновода; 2- корпус рабочей воздушной камеры; 3- камера смешения; 4- корпус кольцевого насадка; 5,6 – подвод сжатого воздуха; 7- концевой переходник от трубопровода в форме конфузора.

При этом, отскок составляющих компонентов смеси от обрабатываемых поверхностей не превышает 10%, а при наличии пластифицирующих добавок - 5...6% даже от потолочных поверхностей. Конструкции таких сопел запатентованы в Украине.

Движение бетонной смеси по трубопроводу к торкрет-соплу осуществляется с помощью двухпоршневого растворобетонасоса. Диаметр трубопровода, при этом, должен быть больше диаметра камеры смешения торкрет-сопла -  $d_{\text{тп}} > d_{\text{кс}}$ .

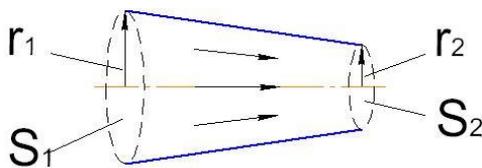
Таблица 1.

<sup>1</sup> Емельянова И.А., д.т.н., проф.; Задорожный А.А., к.т.н., доц., Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Меленцов Н.А., главный инженер ООО “Стальконструкция” г. Харьков.

**Техническая характеристика эжекторного торкрет-сопла с кольцевым насадком (Рис.1б).**

Максимальная крупность заполнителя, мм	10
Общая длина эжекторного торкрет-сопла, мм	465
Длина камеры смешения сопла, мм	210
Внутренний диаметр сопла, мм	35
Длина кольцевого насадка, мм	140
Ширина кольцевой щели, мм	2.65
Масса, кг	6.5
Диаметр резиноканевых рукавов, мм	50

Через конфузор от растворобетононасоса по трубопроводу поступает бетонная смесь. При этом, скорость ее движения на входе  $\mathcal{G}_1$ , а на выходе из конфузора  $\mathcal{G}_2$  (Рис.2) может быть определена исходя из условий движения бетонной смеси к камере смешения торкрет-сопла.



**Рис. 2. Расчетная схема конфузора для определения скоростей движения бетонной смеси к камере смешения торкрет-сопла**

Для конфузора выполняется условие:  $\mathcal{G}_2 > \mathcal{G}_1$  при  $S_1 > S_2$ .

где  $S_1$  и  $S_2$  - соответственно поперечные сечения входного и выходного отверстий конфузора.

Рассматривается процесс движения бетонной смеси при ее постоянном секундном расходе  $Q_{сек} = const$ .

Бетонная смесь рассматривается как Бингамовская жидкость:

$$\tau = \tau_0 = \mu \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dr}, \quad (1)$$

Для рассматриваемой модели секундный расход смеси может быть представлен зависимостью:

$$Q_{сек} = \frac{\pi r_1^3}{\mu \cdot \tau_{cm}^3} \cdot \left[ \frac{\tau^4}{4} - \frac{\tau^3}{3} \cdot \tau_0 \right]_{\tau_0}^{\tau_{cm}} = \frac{\pi r_1 \cdot \tau_{cm}}{4\mu} \cdot \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm}} + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_0}{\tau_{cm}} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где  $\tau_{cm}$  - напряжение на стенке конфузора;

$\tau_0$  - предельное напряжение сдвига;

$r_1$  - радиус сечения конфузора на входе;

$\mu$  - динамическая вязкость бетонной смеси.

Скорость  $\mathcal{G}_1$ , с которой бетонная смесь проходит сквозь первое начальное отверстие конфузора радиусом  $r_1$ , определяется как:

$$\mathcal{G}_1 = \frac{Q_{сек}}{\pi r_1^2} = \frac{r_1 \cdot \tau_{cm}}{4\mu} \cdot \left[ 1 - \frac{4}{3} + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} \right)^4 \right], \quad (3)$$

$$\tau_{cm1} = \frac{r_1}{2} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l}$$

где  $\tau_{cm}$  - напряжение на стенке насадка;

$\Delta p$  - перепад давлений на концах конфузора, Па;

$\Delta l$  - длина исследуемого участка конфузора, м;

Скорость  $\mathcal{G}_2$ , с которой бетонная выходит из конфузора (радиус второго отверстия конфузора  $r_2$ ), определяется согласно зависимости:

$$\mathcal{G}_2 = \frac{Q_{сек}}{\pi r_2^2} = \frac{\pi r_1^3 \cdot \tau_{cm1}}{4\mu \cdot \pi r_2^2} \times \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} \right)^4 \right], \quad (4)$$

или

$$\mathcal{G}_2 = \frac{r_1^3 \cdot \tau_{cm1}}{4\mu \cdot \pi r_2^2} \cdot \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} \right)^4 \right] = \frac{r_1 \cdot \tau_{cm1}}{4\mu} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_0}{\tau_{cm1}} \right)^4 \right]$$

При движении потока бетонной смеси через конфузор  $\mathcal{G}_2 > \mathcal{G}_1$ , тогда:

$$\mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_1 \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \mathcal{G}_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2, \quad (5)$$

Согласно реологической модели Олдройта движение бетонной смеси сквозь конфузор торкрет-сопла рассматривается при условии:

$$\tau = k \cdot \left( \frac{d\mathcal{G}}{dz} \right)^m, \quad (6)$$

где  $k, m$  - константы реологической модели [2];

$\tau$  - касательное напряжение, Па.

В таком случае, секундный расход можно определить как:

$$Q_{сек} = \frac{m \cdot \pi r_1^3}{(3m+1)} \cdot \left( \frac{\tau_{cm1}}{k} \right)^{1/m}, \quad (7)$$

$$\tau_{cm1} = \frac{r_1 \cdot \Delta p}{2 \cdot \Delta l}$$

Скорость  $\mathcal{G}_1$ , с которой бетонная смесь проходит сквозь первое начальное отверстие конфузора радиусом  $r_1$ :

$$\mathcal{G}_1 = \frac{Q_{сек}}{\pi r_1^2} = \frac{m \cdot \pi r_1}{(3m+1)} \cdot \left( \frac{\tau_{cm1}}{k} \right)^{1/m}, \quad (8)$$

$$Q_{сек} = const \neq f(t)$$

Скорость  $\mathcal{G}_2$  на выходе из конфузора определяется как:

$$\mathcal{G}_2 = \frac{Q_{сек}}{\pi r_2^2} = \frac{m \cdot \pi r_1^3}{(3m+1)r_2^2} \cdot \left( \frac{\tau_{cm1}}{k} \right)^{1/m} =$$

$$= \frac{m \cdot \pi r_1}{(3m+1)} \cdot \left( \frac{\tau_{cm1}}{k} \right)^{1/m} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2}, \quad (9)$$

Согласно Рис. 1а,б в камере смешения происходит взаимодействие сжатого воздуха, поступающего из корпуса рабочего сопла, с бетонной смесью, подаваемой в трубопровод из растворобетононасоса. После камеры смешения уже воздушно-бетонная смесь направляется в кольцевой насадок, имеющий форму диффузора.

Для диффузора сохраняются зависимости (3) и (4), однако в таком случае  $S_2 > S_1$ , соответственно  $\mathcal{G}_2 < \mathcal{G}_1$ . Однако отличительной особенностью рабочего процесса движения смеси является то, что в диффузор уже поступает поток воздушно-бетонной смеси в отличие от конфузора, где рассматривается движение потока бетонной смеси без наличия сжатого воздуха.

При этом, определение  $\mathcal{G}'$  воздушно-бетонной смеси и  $\mathcal{G}_2$  соответственно определяются по ниже приведенным зависимостям.

Скорость воздушно-бетонного потока смеси при поступлении в диффузор может быть найдена согласно формуле [3]:

$$\mathcal{G}' = \left[ \mathcal{G}_k \left( S_1 - \frac{\pi \cdot d_{\max}^2}{2} \right) + \frac{M_{\delta c}}{\rho_{\delta c}} \right] \cdot S_2^{-1}, \quad (10)$$

где  $\mathcal{G}_k$  - скорость воздуха в трубопроводе перед поступлением в диффузор, м/с;

$S_1$  - площадь сечения входного отверстия в диффузор, м<sup>2</sup>;

$d_{\max}$  - минимальный диаметр зерна щебня, который переносится потоком сжатого воздуха в смеси при движении по диффузору;

$M_{\delta c}$  - масса бетонной смеси, которая поступает в диффузор за 1с, кг;

$S_2$  - площадь выходного отверстия диффузора, м<sup>2</sup>.

Для определения средней скорости выхода воздушно-бетонной смеси из диффузора сопла с кольцевым насадком можно воспользоваться ранее найденной зависимостью [4]:

$$\mathcal{G}_{-p}(L_{\text{дуф}}) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) \mathcal{G}(r, \varphi, y) dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) dr d\varphi}, \quad (11)$$

где  $R_y(L_{\text{дуф}})$  - радиус сечения струи на расстоянии  $y$  от среза сопла;

$m(r, \varphi, y)$  - общая масса частиц смеси радиусом  $r$ ;

$\mathcal{G}(r, \varphi, y)$  - скорость частиц радиусом  $r$ , находящихся на расстоянии  $y$  от оси потока с полярными координатами  $(r, \varphi)$ .

Для расчета рабочей и кольцевой камер торкрет-сопла можно использовать уравнения характеристики струйного насоса.

В работе [5] приведено уравнение характеристики кольцевого струйного насоса (эжектора), широко применяющегося в строительстве:

$$h = \frac{m_1^2 - (\xi_{kc} + \xi_{\kappa}) \cdot (1+q)^2 - q^2 \cdot (1-m_1)^2 \cdot (1+\xi_{ax})}{m_1^2 \cdot (1+\xi_{uc}) - q^2 \cdot (1-m_1)^2 \cdot (1+\xi_{ax})}, \quad (12)$$

где  $h$  - отношение полного напора на выходе из эжектора,  $H_2$ , к полному напору бетонной смеси  $H_p$  (относительный напор);

$m_1$  - отношение площади сечения камеры смешения к площади сечения рабочего сопла;

$q$  - коэффициент эжекции;

$\xi_{ax}, \xi_{uc}, \xi_{\kappa}, \xi_{kc}$  - коэффициенты потерь энергии соответственно на входе в струйный насос на стороне эжектируемой смеси; в кольцевой щели, в конфузоре, камере смешения.

Коэффициент потерь  $\xi_{ex}$  может быть определен по справочным данным [6]. Значения коэффициента  $\xi_{из}$  также приводятся в справочных данных [7]. Величина коэффициента  $\xi_{кв}$  определяется с помощью уравнения количества движения [8].

Особенностью потока воздуха в кольцевой щели рабочей камеры торкрет- сопла является то, что длина камеры смешения не может быть больше  $6...10 d_{кв}$ , где  $d_{кв}$  – диаметр камеры смешения.

Исследование подтвердили, что при выходе сжатого воздуха из кольцевой щели насадка, распределение давления по сечению подчиняется гидростатическому закону, который позволяет найти коэффициент потерь энергии в кольцевой щели согласно зависимости:

- для угла раскрытия  $\alpha$  диффузора:

$$\xi_{кв} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{p_{ex} + 0.5 \cdot u_i^2}{\rho} \right) \cdot u_i \cdot \Delta A}{g_{sp} \cdot A} - \left( \frac{p_{вых}}{\rho} + 0.5 \cdot \alpha_{вых} \cdot g_2^2 \right) \cdot \frac{1}{(0.5 \cdot g_1^2)}, \quad (13)$$

где -  $\xi_{кв}$  - коэффициент потерь в кольцевой щели;

$p_{ex}, p_{вых}$  - давление на входном и выходном сечении диффузора;

$g_1, g_2$  - скорости на входном и выходном сечениях;

$\alpha_{вых}$  - коэффициент Кориолиса;

$\rho$  - плотность воздуха;

$\Delta A$  - функция угла;

$u_i$  - средняя скорость движения воздуха в кольцевой щели диффузора.

Исследования коэффициента потерь диффузора при различных угла раскрытия  $\alpha$  [9] и диапазоне изменения коэффициента эжекции  $q=0,08...0,62$  показали, что угол раскрытия диффузора (конфузора) не следует увеличивать более  $16^\circ$ .

## Выводы

1. Рассмотрены конструктивные особенности торкрет-сопел с кольцевым насадком;
2. Приведены зависимости для определения движения потоков как бетонной смеси, так и воздушно-бетонной смеси в условиях конфузора (диффузора);
3. Найдена зависимость для определения коэффициента потерь диффузора.

## Литература

1. Использование оборудования мокрого торкретирования в условиях реконструкции зданий и сооружений. / И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.А. Задорожный, А.Н. Проценко // Материалы международной НТК "Interstroimech-98". -Воронеж. - 1998. - С. 88-89.
2. Идельчик И.Е., Гинзбург Д.Л., Основные результаты новых экспериментальных исследований конических диффузоров, НИИОГАЗ – Механическая очистка промышленных газов – М.: Машиностроение, 1974.
3. Кузмичев В. Е. Законы и формулы физики – Киев: Наукова думка, 1989-с. 865.
4. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Задорожный А.А. Кинетическая энергия потока строительной смеси при мокром торкретировании с учетом фракционного состава заполнителя // Научные труды региональной научно-технической конференции "Проблемы создания новых машин и технологий". - Кременчуг. -1996. - С. 160-162.
5. Гусак И.В. Исследование движения кольцевой струи в цилиндрической трубе //В сб. Гидравлика и гидротехника. – Киев, 1970.- №9.
6. Скорупко А. М. Основные расчетные соотношения для проектирования кольцевых струйных насосов. НИИинформтяжмаш, №280.- 1978.- Вып.3 – Естественные и точные науки, техника.
7. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Скорупко А. М. Гидравлический расчет параметров кольцевого эжектора. // Изв. вузов. Строительство и архитектура.- 1973. - №8.
8. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Скорупко А. М. Гидравлическое исследование параметров кольцевого эжектора.// В сб.: Гидравлика и гидротехника.- Кишинев, 1975.-т.150
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. –М.: Машиностроение, 1975.