

УДК 614.842.6

**Работа в кавитационном режиме пеногенератора  
проточного типа системы подслоного тушения резервуаров  
нефтепродуктов**

Карпенчук И. В., Пармон В. В., Полешук Г. К.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь  
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и  
проблем чрезвычайных ситуаций

При разработке кавитационных высоконапорных пеногенераторов, работающих в гидравлических системах при высоких статических противодавлениях, необходимо наряду с заданными гидродинамическими параметрами течения рабочей жидкости в системе находить оптимальные геометрические характеристики кавитатора, определяющие возникновение и развитие в нем кавитационного режима [1].

Основными характеристиками, определяющими работу высоконапорных пеногенераторов, служат следующие параметры: расход жидкости –  $Q$ ; давление на входе в пеногенератор –  $P_1$ ; противодействие на выходе из пеногенератора –  $P_2$ ; угол конусности конфузора –  $\alpha_k$ ; угол конусности диффузора –  $\alpha_d$ ; площадь узкого сечения пеногенератора –  $S_c$ ; площадь входного и выходного сечения, регламентируемая диаметром подводящей и отводящей гидромагистралей системы –  $S$ . Зная эти параметры, можно решить вопрос о наличии и степени развития кавитации. Как известно, кавитация будет иметь место, если выполняется следующее неравенство (1).

$$\sigma \leq \sigma_k . \quad (1)$$

Оптимальными параметрами будут такие, которые обеспечивают возникновение кавитации в высоконапорном пеногенераторе при минимальных потерях давления, т.е.

$$\sigma = \sigma_k \text{ или } \xi = \beta \sigma_k , \quad (2)$$

где  $\beta$  – параметр, зависящий от противодействия ( $\beta = 1 - P_2/P_1$ );

$\sigma_k$  – критическое число кавитации ( $\sigma_k = P_1/(\rho v^2)$ ).

Для нахождения искомых критических чисел кавитации используется уравнение (3).

$$\sigma_k = 4,54\sqrt{n/m}\xi^{0,4}, \quad (3)$$

где  $n=S/S_c$ ;  $m=\alpha_k/\alpha_\delta$ .

Откуда получаем:

$$\sigma_k = 4,54/m \times n^{2,5} \xi^{0,4}. \quad (4)$$

Коэффициент гидродинамического сопротивления в момент возникновения кавитации принимался равным коэффициенту сопротивления в квадратичной области  $\xi=\xi_{кв}$ , который определялся как сумма коэффициентов гидродинамического сопротивления конфузора и диффузора [2, 3].

$$\xi_{кв} = k_{конф} (1/n^2)(1-1/\varepsilon)^2 + \sin \alpha_\delta (1-1/n)^2, \quad (5)$$

где  $k_{конф}$  – эмпирический коэффициент [5];

$$\varepsilon = 0,57 + 0,043/(1,1-n).$$

Ставится задача отыскания таких значений  $n$  и  $\alpha_\delta$  при заданных параметрах течения жидкости  $Q, P_1, P_2$  геометрических характеристик, зависящих от параметров гидросистемы  $\alpha_k$  и  $S$  чтобы можно было гарантировать возникновение кавитации в высоконапорном пеногенераторе.

Предлагается численное решение данной задачи. В силу уравнения (2) для выполнения неравенства (1) нам достаточно так определить  $n$  и  $\alpha_\delta$ , чтобы:

$$\xi_{кв} = \beta \sigma_k. \quad (6)$$

Анализ формул (4) и (5) показывает, что существует такая функция  $\alpha_\delta=f(n)$ ,  $0 < n < 1$ , что при любом  $n \in (0,1)$  и  $\alpha_\delta=f(n)$  равенство (6) будет выполнено. Подставляя в формулы (4) и (5) при каждом  $n$  вместо  $\alpha_\delta$  значение  $f(n)$ , мы можем построить график  $\alpha_k=\varphi_n$ .

Вычисления производятся по следующей схеме. Фиксируется значение угла конфузора  $\alpha_k$  ( $\alpha_k=10^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 40^\circ$ ). Затем для каждого из значений  $\beta=0,1, 0,2, \dots, 0,7$  организуется цикл по  $n$ , которое изменяется от 0,01 до 0,9 с шагом 0,01. Каждый шаг этого цикла включает в себя нахождение методом половинного деления  $\alpha_\delta$  как корня уравнения (6) с точностью до  $2^{-8}$  градусов (если на отрезке от  $1^\circ$  до  $20^\circ$  корня нет, то полагается  $\alpha_\delta=20^\circ$ ) и вычисление соответствующего значения  $\sigma_k$ . После этого строятся графики зависимости  $lg\sigma_k$  от  $n$ . Используя полученные зависимости, расчет оптимальных параметров производится сле-

дующим образом. Для заданных параметров  $Q, P_1, P_2, \beta$  вычисляем  $\sigma_k$  и  $lg\sigma_k$ . По построенным графикам определяем  $n$ , которое соответствует значению  $\sigma_k = \sigma$ .

Тогда в силу уравнений (4) и (6):

$$\alpha_0 = \alpha_k n^{2.5} \beta^{0.4} \sigma_k^{1.4} / 4,54. \quad (7)$$

Найденные параметры  $n$  и  $\alpha_0$  высоконапорного пеногенератора обеспечивают возникновение в нем кавитации при минимально возможных потерях давления.

При необходимости получения в пеногенераторе более развитого кавитационного режима задаем критическим числом кавитации  $\sigma_k > \sigma_k$  и по построенным графикам и формуле (7) определяем необходимые геометрические размеры высоконапорного пеногенератора. Критический параметр кавитации для пеногенератора с новыми геометрическими размерами можно определить по формуле (8).

$$K_{sp} = 1 - \xi' / \sigma_k', \quad (8)$$

где  $\xi'$  – коэффициент гидродинамического сопротивления при найденных размерах высоконапорного пеногенератора по формуле (5).

Степень развития кавитации определяется сравнением критического параметра кавитации и параметра кавитации  $K$ , определяемого по уравнению (9).

$$\left( \xi^{kav} / \xi \right)_{max} = 1 / (1 - K_{sp}). \quad (9)$$

Данная методика расчета оптимальных параметров кавитационных эжекторов-смесителей работающих в кавитационном режиме, позволяет при наличии основных характеристик высоконапорного пеногенератора решить вопрос о наличии и степени развития кавитации.

### Литература

1. Сточек, Н. П. Гидравлика жидкостных ракетных двигателей / Н. П. Сточек, А. С. Шапиро. – М.: Машиностроение, 1983. – 128 с.
2. Альтшуль, А. Д. Примеры расчетов по гидравлике / А. Д. Альтшуль. – М.: Стройиздат, 1976. – 255 с.
3. Рабинович, Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Недра, 1980. – 278 с.