

УДК 628.648

**Р.Н. ВОСТРОВА, Д.В. МАКАРОВ**

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБМЫВКИ ВАГОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАВИТАЦИОННОГО НАСАДКА

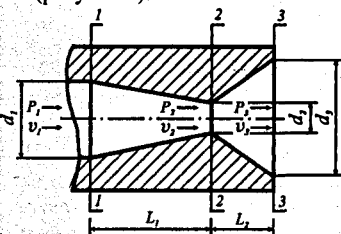
In this article the question of the use of cavitation when washing wagons. Selected form nozzle, been calculated of its dimensions and flow parameters. Determined by water temperature approximate pump characteristics

Применение энергосберегающих технологий актуально для предприятий железнодорожного транспорта. В данной статье предлагается использовать энергию кавитационной струи вместо традиционной обмывки вагонов нагретой водой.

Явление кавитации возникает в напорных трубопроводах, в случае снижения давления в них до давления насыщенных паров рассматриваемой жидкости при данной температуре. Т.к. явление кавитации возникает, как правило, в сужающихся сечениях трубопроводов, то согласно закону сохранения энергии, в расширяющейся части трубопровода давление возрастает, а скорость падает.

В этом случае из жидкости начинают активно выделяться пузырьки растворенных в ней газов. Лопаясь на поверхности трубопровода, они вызывают локальное кратковременное давление, выбивая молекулы металла, что может даже привести к эрозии материала трубопровода. Опытными испытаниями установлено, что кавитационная струя сохраняет свои свойства, попадая в атмосферу на расстоянии пяти сантиметров при выходе из насадка.

В качестве кавитационного насадка предлагается насадок, состоящий из двух частей (рисунок 1):



- конически сходящейся части (конфузорной), которая способствует увеличению скорости движения жидкости и снижению давления до давления насыщенных паров жидкости при данной температуре, что приводит к выделению пузырьков газов;

Рисунок 1 – Схема канала кавитационного насадка

- диффузорной части, в которой происходит снижение скорости и увеличение давления, что приводит к схлопыванию кавитационных пузырьков на поверхности вагонов.

Расчет оптимальных геометрических параметров насадка и расхода протекающей внутри него воды должен обеспечить такой уровень освобождающейся энергии, при котором происходит только удаление жировой пленки без эрозионного разрушения внешней поверхности стенок вагона.

Зададимся некоторыми реальными значениями основных параметров потока воды на входе в насадок (сечение 1-1) и исходными его размерами. Примем, в частности, давление на входе  $P_1 = 2 \cdot 10^5$  Па, скорость движения потока  $v_1 = 3$  м/с, диаметр  $d_1 = 0,1$  м и длину участка сужения  $L_1 = 0,175$  м.

Определим значение этих же параметров в сечении 2-2 при выполнении условия неразрывности потока жидкости и равенства давления  $P_2$  давлению насыщенных паров воды.

Скорость  $v_2$  определим из уравнения неразрывности потока:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2},$$

где  $A_1, A_2$  – площади поперечных сечений канала насадка в сечениях 1-1 и 2-2;

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4},$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2.$$

Принимаем угол схождения конусной части  $\theta = 11,25^\circ$ . Расчет величины диаметра в сечении 2-2 дает  $d_2 = 0,0395$  м. Тогда

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4},$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot 0,0395^2}{4} = 0,00123 \text{ м}^2.$$

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot A_1}{A_2},$$

$$v_2 = \frac{3 \cdot 0,0785}{0,000995} = 19,21 \text{ м/с}.$$

Для использования формулы Бернулли определим суммарные потери сопротивления на участке 1-2. Описываются они соотношением:

$$h_m = \frac{\zeta \cdot v_2^2}{2g}.$$

Коэффициент сопротивления  $\zeta$  рассчитывается по формуле Альтшуля:

$$\zeta = \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot k,$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент сужения струи;

$k$  – коэффициент смягчения.

Приближенное значение коэффициента  $\varepsilon$  определяется по формуле:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{A_1}{A_2}},$$

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{0,00123}{0,00785}} = 0,616.$$

Значение коэффициента  $k$  берется из таблицы 1 [3], определяющей его зависимость от угла схождения  $\theta$ .

После интерполяционного расчета получаем  $k = 0,25$ .

Следовательно,

$$\zeta = \left( \frac{1}{0,616} - 1 \right)^2 \cdot 0,25 = 0,098 \text{ и } h_m = 0,098 \frac{19,21^2}{2 \cdot 9,81} = 1,83 \text{ м.}$$

Тогда давление  $P_2$  в сечении 2-2 можно рассчитать используя уравнение Бернулли [1], располагая линией сравнения на геометрической оси насадка:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_m.$$

$z_1, z_2$  – координаты высот геометрических центров поперечных сечений канала насадка в положениях 1-1 и 2-2;

$\gamma_1, \gamma_2$  – удельные веса жидкости в моменты прохождения сечений 1-1 и 2-2. Принимаем с достаточной степенью точности  $\gamma_1 = \gamma_2 = 9807 \text{ Н/м}^3$  [2];

$a_1, a_2$  – коэффициенты Кориолиса для сечений 1-1 и 2-2. Так как режим движения жидкости турбулентный, то  $a_1 = a_2 = 1$ ;

$g$  – ускорение свободного падения тела равно  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

Из последнего соотношения получаем

$$P_2 = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - h_m \right) \cdot \gamma.$$

$$P_2 = \left( \frac{2 \cdot 10^5}{9807} + \frac{3^2 - 19,21^2}{2 \cdot 9,81} - 1,83 \right) \cdot 9807 = 2134 \text{ Па.}$$

Полученное давление весьма близко подходит к давлению насыщенных паров для воды при температуре  $19^\circ\text{C}$ , которое равно  $2198 \text{ Па}$ . При таких условиях возможно возникновение кавитации.

Параметры потока в сечении 3-3 получены также на основании уравнения Бернулли и уравнения неразрывности движения. Таким образом, скорость на выходе из насадка  $v_3 = 5,35 \text{ м/с}$ , угол конусности равен  $30^\circ$ , длина диффузорной части  $L_2 = 0,025 \text{ м}$ , диаметр  $d_3 = 0,075 \text{ м}$ , напор  $H_3 = 18,9 \text{ м}$ .

Ожидается, что осуществить описанный процесс можно на основе гидронасоса, имеющего давление струи воды в пределах 2–2,5 атмосферы и расход воды до  $85 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Железняков, Г.В. Гидравлика и гидрология. – М.: Транспорт, 1989. – 49 с.

Сборник задач по гидравлике. – К.: Вища школа, 1972. – 9 с.

Богомолов, А.И. Гидравлика / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов – М.: Стройиздат, 1972. – 647 с.