

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 7969

(13) U

(46) 2012.02.28

(51) МПК

*B 08B 3/02* (2006.01)

*B 08B 3/04* (2006.01)

*B 63B 59/08* (2006.01)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ КАВИТИРУЮЩЕЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ

(21) Номер заявки: u 20110544

(22) 2011.07.04

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

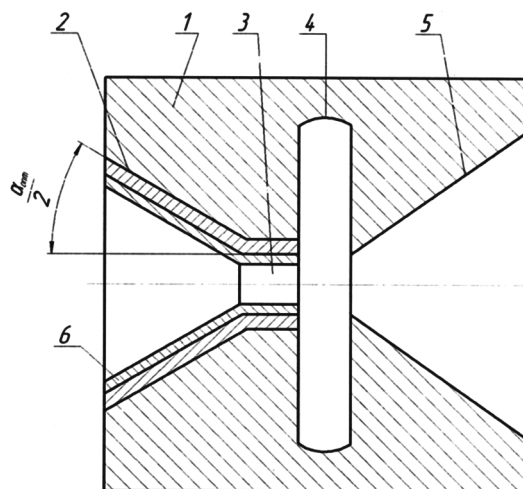
(72) Авторы: Качанов Игорь Владимирович; Веремюк Валентин Валентинович; Филипчик Алексей Вячеславович; Ушев Святослав Игоревич; Рубчяня Антон Андреевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

Устройство для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости, содержащее корпус, выполненный с внутренней поверхностью в виде поверхности вращения, включающей конфузор, соединенный с ним цилиндрический участок, дополнительную ступень обработки, диффузор и втулку на основе бентонита, расположенную в конфузоре, отличающееся тем, что конфузор выполнен с углом конусности  $\alpha_{\text{опт}}$  с учетом изменения числа Рейнольдса  $Re$  от 4000 до 100000 и равен:

$$\alpha_{\text{опт}} = 2 \arcsin \left( \frac{0,03423(1-n^{3,75})}{\left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2} \sqrt[4]{\frac{v}{v_2 \Gamma_2}} + 0,0067 \right)^{\frac{1}{4,45}},$$



Фиг. 1

# ВУ 7969 U 2012.02.28

где  $n = \frac{r_2}{r_1}$  - характеристика сужения конфузора;

$r_1, r_2$  - радиусы на входе и выходе из конфузора соответственно;

$\nu$  - кинематический коэффициент вязкости;

$\epsilon$  - коэффициент сжатия струи;

$u_2$  - скорость на выходе из конфузора.

(56)

1. Патент RU 2034640 С1, МПК В01F 5/00 // Бюл. № 13. - 10.05.05.

2. Патент ВУ 6833 U, МПК В 08В 3/02, В 08В 3/04, В 63В 59/00, опубл. 10.12.30.

3. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). - М.: Стройиздат, 1975. - С. 229-231.

4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. - М.: Недра, 1982. - С. 177-179.

5. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. - М.: Машиностроение, 1970. - С. 25-28.

6. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. - Л.: Энергия, 1982. - С. 159-160.

---

Предлагаемая полезная модель относится к гидродинамической очистке и упрочнению поверхностного слоя металла, может быть использована для очистки подводных сооружений, например внешних поверхностей судов, находящихся на плаву, от ржавчины, обрастаний и различных наслоений.

Известен гидрокавитационный генератор [1], который содержит корпус, выполненный с внутренней поверхностью в виде поверхности вращения, включающей конфузор. С конфузуром соединен цилиндрический участок с дополнительной ступенью обработки, выполненной между цилиндрическим участком и диффузором. Образующая дополнительной ступени обработки имеет профиль, отличный от профиля образующей цилиндрического участка.

Недостатками известного устройства являются недостаточно высокая эффективность и качество очистки, которые снижаются при выполнении конфузора без учета оптимального угла конусности и недостаточного использования динамического давления струи.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому техническому решению является устройство для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости [2]. Указанное устройство содержит корпус, выполненный с внутренней поверхностью в виде поверхности вращения, включающей конфузор, соединенный с ним цилиндрический участок, дополнительную ступень обработки, диффузор и втулку на основе бентонита, расположенную в конфузуре.

Недостатками указанного устройства являются недостаточно высокая эффективность и качество очистки металлических поверхностей, которые снижаются в результате того, что расчет оптимального угла конусности конфузора  $\alpha_{\text{опт}}$  выполнен без учета изменения числа Рейнольдса  $Re$ .

Задачей, решаемой предлагаемой полезной моделью, является повышение эффективности и качества очистки металлической поверхности путем формирования более компактной струи жидкости и увеличения ее динамического давления.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в устройстве для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости, содержащем корпус, выполненный с внутренней поверхностью в виде поверхности вращения, включающей конфузор, соединенный с ним цилиндрический участок, дополнительную ступень обработки, диффузор и втулку на основе бентонита, расположенную в конфузуре, конфузор выполнен с оптимальным углом  $\alpha_{\text{опт}}$  с учетом изменения числа Рейнольдса  $Re$  от 4000 до 100000 и равен:

$$\alpha_{\text{опт}} = 2 \arcsin \left( \frac{0,03423(1-n^{3,75})}{\left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2} \sqrt[4]{\frac{v}{v_2 r_2}} + 0,0067 \right)^{\frac{1}{4,45}},$$

где  $n = \frac{r_2}{r_1}$  - характеристика сужения конфузора;

$r_1, r_2$  - радиусы на входе и выходе из конфузора соответственно;

$v$  - кинематический коэффициент вязкости;

$\varepsilon$  - коэффициент сжатия струи;

$v_2$  - скорость на выходе из конфузора.

Сущность полезной модели поясняется чертежом, где на фиг. 1 схематически представлено устройство для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости, на фиг. 2 представлена расчетная схема конфузора, на фиг. 3 представлен график зависимости полных потерь напора от угла конусности конфузора  $\alpha$ . Устройство содержит корпус 1, выполненный с внутренней поверхностью в виде поверхности вращения, включающей конфузур 2. С конфузуром 2 соединен цилиндрический участок 3 с дополнительной ступенью 4 обработки, выполненной между цилиндрическим участком 3 и диффузором 5, в конфузуре 2 расположена втулка 6 на основе бентонита. Образующая дополнительной ступени 4 обработки имеет профиль, отличный от профиля образующей цилиндрического участка 3.

В работе [2] приводится решение вариационной задачи по минимизации потерь напора в потоке жидкости, проходящем через конфузур. Очевидно, что минимизировать потери можно за счет использования оптимального угла конусности конфузора  $\alpha_{\text{опт}}$ . При расчете конфузора (фиг. 2), в соответствии с рекомендациями [3], [4], [5], полную потерю напора  $h$  будем рассматривать как сумму двух слагаемых

$$h = h_{\text{мп}} + h_{\text{н.с}}, \quad (1)$$

где  $h_{\text{мп}}$  - потери напора на трение;

$h_{\text{н.с}}$  - потери напора на сужение.

Потерю напора на трение рассчитаем следующим образом. Рассмотрим круглый конфузур с прямолинейной образующей и с углом  $\alpha$  при вершине. Пусть радиус входного отверстия конфузора равен  $r_1$ , выходного -  $r_2$  (фиг. 2). Так как радиус сечения и скорость движения жидкости являются величинами переменными вдоль конфузора, то следует взять элементарный отрезок конфузора длиной  $dl$  вдоль образующей и для него выразить элементарную потерю напора на трение по основной формуле:

$$dh_{\text{мп}} = \lambda \frac{dl}{2r} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент потерь на гидравлическое трение;

$v$  - значение средней скорости в произвольно взятом сечении, радиуса  $r$ .

Из треугольника ABC (фиг. 2) следует:

$$dl = \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (3)$$

На основании уравнения постоянства расхода можно записать

$$v = v_2 \left( \frac{r_2}{r} \right)^2, \quad (4)$$

где  $v_2$  - скорость на выходе из конфузора.

Формулу для определения числа Рейнольдса запишем:

$$\frac{vd}{\nu} = Re, \quad (5)$$

где  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости.

В работе [6] на основании обработки многочисленных опытов по исследованию движения жидкости в круглых гладких (латунных) трубах при числах Рейнольдса  $Re$  от 4000 до 100000 установлена эмпирическая зависимость:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (6)$$

Запишем выражение (6) с учетом выражения (4), (5):

$$\lambda = 0,316 \frac{\sqrt[4]{r} \sqrt[4]{v}}{\sqrt[4]{2v_2} \sqrt{r_2}}. \quad (7)$$

Подставив выражения (3), (6) в формулу (2) получим:

$$dh_{mp} = 0,158 \frac{\sqrt[4]{r} v_2^2 r_2^{3,5}}{g \sqrt[4]{2v_2} \sin \frac{\alpha}{2} r^n} \frac{dr}{r^{19}} = f(r) dr \quad (8)$$

Выполнив интегрирование по длине образующей вдоль всего конфузора, получим:

$$h_{mp} = \int_{r_2}^{r_1} f(r) dr = 0,03543 \frac{\sqrt[4]{v} v_2^{1,75}}{g \sin \frac{\alpha}{2}} r^{-0,25} (1 - n^{3,75}), \quad (9)$$

где  $n = \frac{r_2}{r_1}$  - характеристика сужения конфузора;

$\alpha$  - угол конусности конфузора.

При расчете потерь напора на сужение используем зависимость

$$h_{n.c} = \zeta_{n.c} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (10)$$

где  $\zeta_{n.c}$  - коэффициент постепенного сужения.

На основании рекомендаций, приведенных в работе [3, 4, 5],

$$\zeta_{n.c} = k_{n.c} \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2, \quad (11)$$

где  $k_{n.c}$  - коэффициент смягчения;

$\varepsilon$  - коэффициент сжатия струи (на основании данных [3, 4];

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n^2}).$$

По графической зависимости, полученной А.Д. Альтшулем и А.И. Калицуном, коэффициента  $k_{n.c}$  от угла конусности  $\alpha$  [3, 4], используя метод наименьших квадратов, выражение (1) с учетом формулы (9) запишем в следующем виде:

$$h = 0,03543 \frac{\sqrt[4]{v} v_2^{1,75}}{g \sin \frac{\alpha}{2}} r_2^{-0,25} (1 - n^{3,75}) + \left( 0,6 \sin^{3,45} \frac{\alpha}{2} + \frac{0,0138}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 0,13 \right) \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g}. \quad (12)$$

Для определения оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$ , при котором потери напора будут минимальными, возьмем производную  $\frac{dh}{d\alpha} = 0$  и приравняем ее нулю. Тогда при  $\alpha \in (0; 180)$  и  $n < 1$

$$\alpha_{\text{опт}} = 2 \arcsin \left( \frac{0,03423(1-n^{3,75})}{\left(\frac{1}{\epsilon}-1\right)^2} \sqrt[4]{\frac{v}{v_2 r_2}} + 0,0067 \right)^{\frac{1}{4,45}}. \quad (13)$$

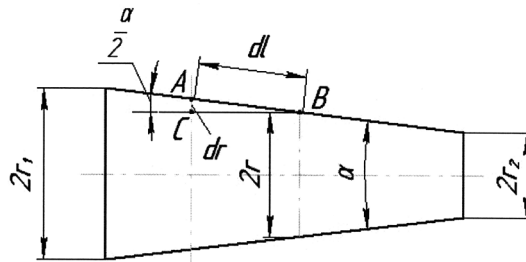
В процессе эксперимента был изготовлен конфузор с углом конусности, рассчитанный по формуле (13), определены величины полных потерь напора. Полученные результаты приведены в таблице.

### Зависимость полных потерь напора от угла конусности конфузора $\alpha$

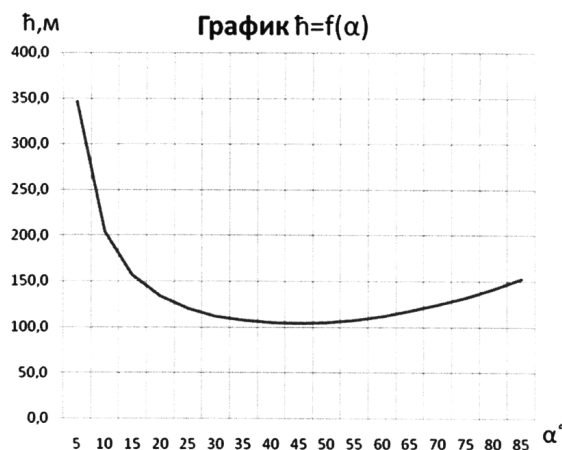
Угол конусности $\alpha, ^\circ$	5	15	25	35	45	55	65	75	85
Потери напора $h, \text{ м}$	346,0	156,5	119,9	106,8	103,8	107,5	117,2	132,3	152,2

Как свидетельствуют полученные данные, устройство позволяет получить более компактную струю жидкости с увеличением ее динамического давления за счет снижения полных потерь напора в устройстве, что повышает эффективность и качество очистки металлических поверхностей.

На фиг. 3 приведен график зависимости полных потерь напора от угла конусности конфузора  $\alpha$ .



Фиг. 2



Фиг. 3