

## ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 681.51

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

А.Н. Щербина, В.А. Зацепин, В.Е. Баранов, А.Г. Леви, С.И. Юрков  
e-mail: dep640@vniitf.ru

Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск, Россия

Статья поступила 28 мая 2003 г.

#### Введение

Эжекторные вакуумные насосы (ЭВН) находят разнообразное применение в машиностроении, часто — в качестве генераторов вакуума для разнообразных устройств типа «присоска». Например, в узлах присосок роботов вертикального перемещения, или иначе «роботов–стеноходов» [1]. Такие технические характеристики ЭВН, как уровень достигаемого вакуума и скорость откачки, в значительной степени определяют надежность удержания робота на стене.

Работоспособность ЭВН в воздушной среде при нормальном атмосферном давлении в значительной мере исследована, имеются публикации, например, в монографии [2].

Авторам данной статьи не известны публикации о работоспособности ЭВН в подводных условиях, т. е. в условиях истечения струи сжатого воздуха из смесительной камеры ЭВН в значительно более плотную (чем воздух) среду, находящуюся под гидростатическим давлением.

С целью определения возможности работы под водой робота–стенохода на вакуумных присосках на глубинах до 20 метров, было проведено исследование работы ЭВН в подводных условиях на глубинах 0, 5, 10, 15 и 20 метров.

Исследованию подвергся узел присоски со встроенным в его корпус ЭВН со следующими основными техническими характеристиками:

- |  |   |
|--|---|
| – диаметр цилиндрического сопла эжектора                             | $d_c = 1 \text{ мм},$                                 |
| – диаметр цилиндрической смесительной камеры                         | $d_{\text{СК}} = 1,6 \text{ мм},$                     |
| – основной конструктивный параметр ЭВН                               | $\alpha = d_c^2 / (d_{\text{СК}}^2 - d_c^2) = 0,641,$ |
| – длина смесительной камеры  | $l_{\text{СК}} = 12,8 \text{ мм},$                    |
| – зазор между срезом сопла и смесительной камерой                    | $\delta = 0,24 \text{ мм}$                            |
| – эффективное давление в магистрали эжектора                         | $P_m = 2,75 \text{ кГ / см}^2,$                       |
| – достигаемый уровень вакуума при $P_m = 2,75 \text{ кГ / см}^2$     | $P_v = 0,26 \div 0,3 \text{ кГ / см}^2,$              |
| – минутный расход сжатого воздуха при $P_m = 2,75 \text{ кГ / см}^2$ | $v_m = 0,025 \text{ м}^3 / \text{мин},$               |

#### Постановка исследований, результаты

Суть методики исследований заключалась в следующем. Узел присоски помещался и закреплялся в герметичном стальном контейнере. Имитация погружения узла присоски на глубину под поверхность воды осуществлялась на первом этапе посредством создания в полости контейнера избыточного воздушного давления, эквивалентного имитируемому гидростатическому, как в откачиваемом объеме присоски, так и в полости сброса сжатого воздуха из смесительной

камеры ЭВН. На втором этапе исследований контейнер наполнялся водой до необходимого уровня, узел присоски погружался под поверхность воды, а имитация погружения на глубину осуществлялась созданием избыточного давления в воздушной среде над поверхностью воды. Этим достигалось наиболее полное соответствие условий работы узла присоски под водой.

Целью исследований, таким образом, являлось определение условий работоспособности эжекторных вакуумных насосов узла присоски под водой на глубинах до 20 метров.

На рис. 1 показана схема лабораторного стенда, на котором проводились исследования.

На рис. 2 показаны результаты измерений при исследовании работы ЭВН на первом и втором этапах.

График  $P_{v_i} = f(P_{m_i})$  показывает зависимость уровня вакуума в присоске от давления воздуха в магистрали эжектора, при работе ЭВН в воздушной среде при нормальном атмосферном давлении.

Графики  $P_{v_i}(5 \div 20) = f(P_{m_i}, h_i)$  показывают зависимость уровня вакуума в присоске от давления воздуха в магистрали эжектора, при работе ЭВН с истечением воздуха из смесительной камеры в воздушную среду с избыточным давлением  $(0,5 \div 2)$  атм.

Графики  $P(5 \div 20)_{gv_i} = f(P_{m_i}, h_i)$  показывают зависимость уровня вакуума в присоске от давления воздуха в магистрали эжектора, при работе ЭВН с истечением воздуха из смесительной камеры в водную среду с избыточным давлением  $(0,5 \div 2)$  атм.

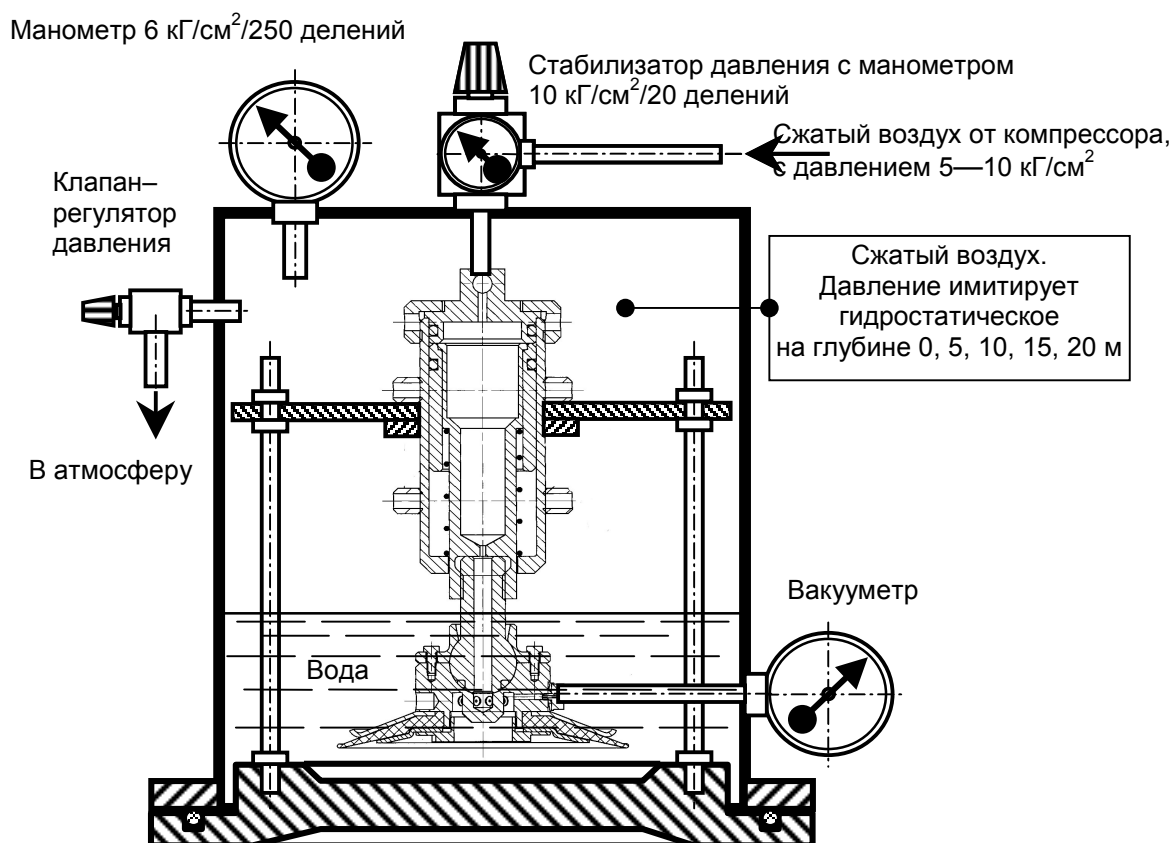


Рис. 1. Схема лабораторного испытательного стенда

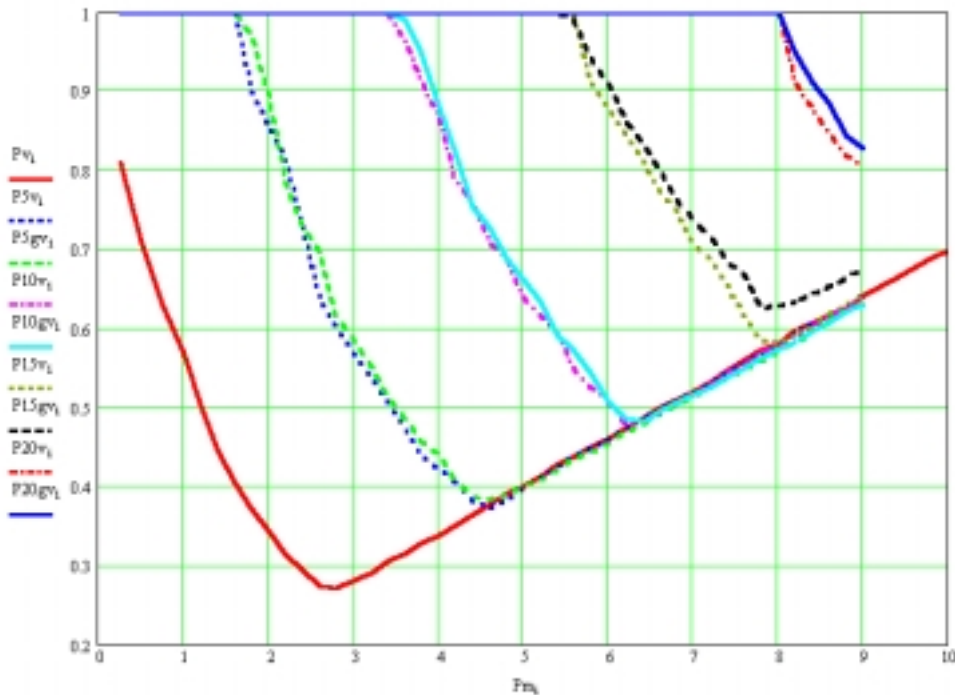


Рис. 2. Зависимость уровня вакуума в присоске от давления в эжекторе и глубины погружения в водную среду на 0, 5, 10, 15 или 20 метров

$P_{m_i}$  — давление в эжекторе (кГ/см<sup>2</sup>);  $P_{v_i}$ ,  $P_{v_i}(5 \div 20)$ ,  $P_{gv_i}(5 \div 20)$  — вакуум в полости присоски (кГ/см<sup>2</sup>)

Сравнительный анализ графиков рис. 2 позволяет сделать следующие выводы:

1. при погружении данного ЭВН на глубину, уровень достигаемого вакуума понижается, как показано в табл. 1;

Таблица 1

$H$ , м	0	5	10	15
$P_v$ , атм.	0,276	0,382	0,480	0,626

2. для сохранения заданного уровня вакуума в присоске при погружении ЭВН на глубину, необходимо увеличивать избыточное давление в эжекторе, как показано для вакуума  $P_v = 0,6$  в табл. 2;

Таблица 2

$H$ , м	0	5	10	15
$P_v$ , атм.	0,6	0,6	0,6	0,6
$P_m$ , атм.	0,88	2,9	5,4	7,7

3. при истечении воздуха из смесительной камеры ЭВН в водную среду с гидростатическим давлением, достигаемый уровень вакуума незначительно ( $\leq 3\%$ ) отличается от уровня вакуума, достигаемого при истечении воздуха в воздушную среду, находящуюся под давлением, соответствующем гидростатическому (по крайней мере в диапазоне давлений в эжекторе  $P_m = (2 \div 7)$  атм.);
4. зависимость  $P_v = f(h)$  для данного ЭВН по экспериментальным данным табл. 1 хорошо аппроксимируется полиномом третьей степени  $P_v = 0,276 + 0,0257h - 0,00128h^2 + 0,0000746h^3$ , используя который можно получать значения уровней достигаемого вакуума  $P_v$  на любой глубине в диапазоне значений  $h = (0 \div 20)$  метров (см. рис. 3);
5. зависимость  $P_m = f(P_v, h)$  для диапазона значений  $P_v = (0,6 \div 0,9)$  атм. и  $h = (2,5 \div 17,5)$  м (с точностью  $\Delta P_m = \pm 6,5\%$ ) может быть рассчитана по формуле:  $P_m = 0,3296 \cdot h / P_v$ , (рис. 4).

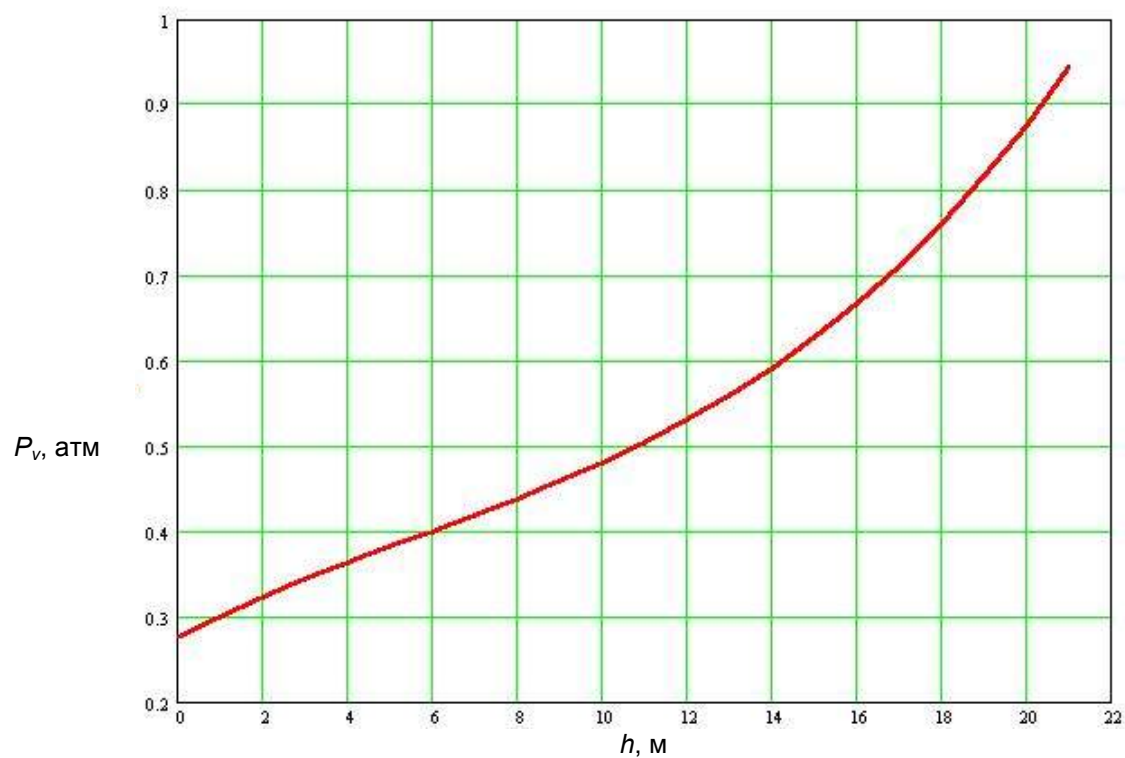


Рис. 3. Зависимость достигаемого уровня вакуума от глубины погружения

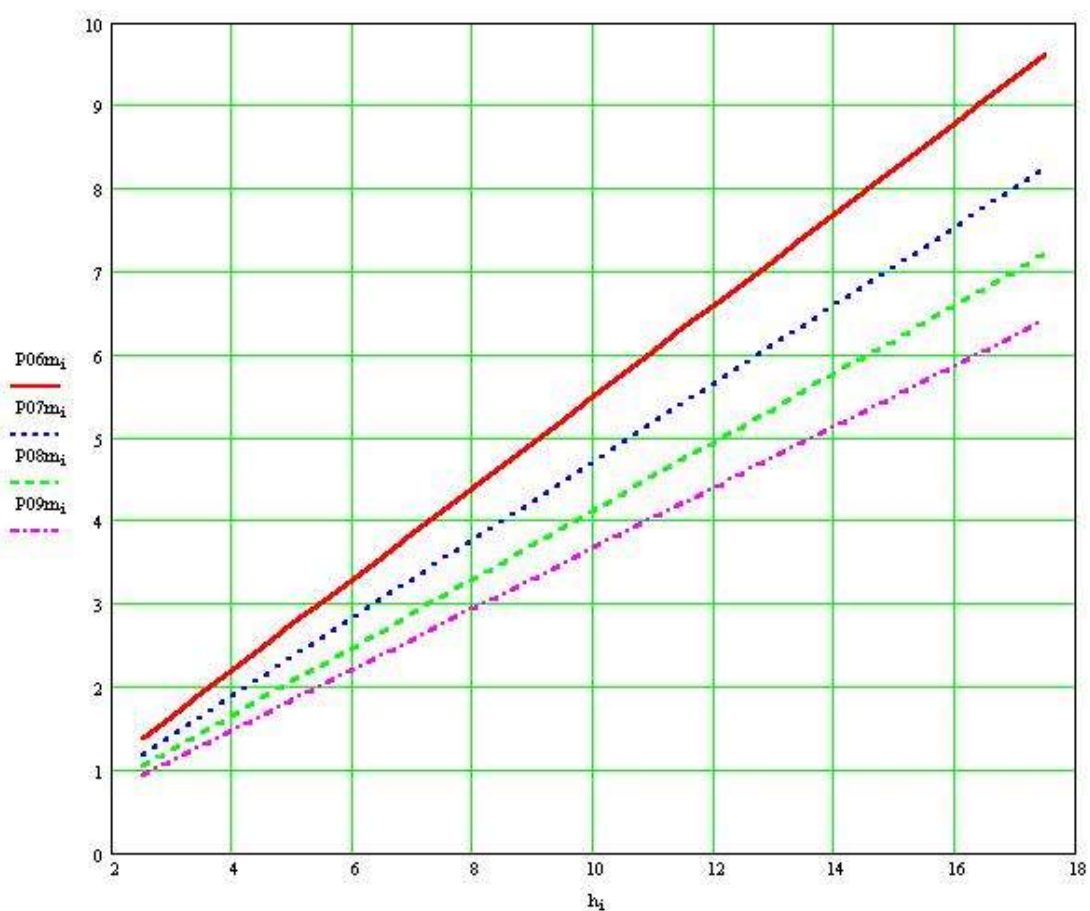


Рис. 4. Зависимость магистрального давления в эжекторе  $P_m = f(P_v, h)$  для диапазона значений  $P_v = (0,6 \div 0,9)$  атм. и  $h = (2,5 \div 17,5)$  м (с точностью  $\Delta P_m = \pm 6,5 \%$ )

## Заключение

Эжекторный вакуумный насос (с техническими характеристиками — см. Введение) способен обеспечить надежную работу присоски под водой на глубинах до 17,5 м — при наличии источника сжатого воздуха с давлением не ниже 10 атм. и минутной производительностью не ниже минутного расхода насоса (насосов).

Система управления устройством, в состав которого входит ЭВН, должна содержать (в цепи питания эжектора ЭВН) регулятор стабилизированного давления, регулирование которого должно осуществляться в соответствии с показаниями датчика гидростатического давления.

Использование ЭВН в составе мобильных роботов–стеноходов на глубинах более 20 м авторы считают весьма проблематичным главным образом из-за того, что разработанные для этих условий конструкции ЭВН потребуют более мощного компрессорного оборудования, масса и габариты которого могут оказаться несовместимыми с идеей «мобильности».

## Список литературы

1. Градецкий В.Г., Рачков М.Ю. Роботы вертикального перемещения. М.: Минобразование РФ, 1997. 223 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Госиздат. технико–теоретической литературы, 1953. 824 с.