

УДК 621.65

**РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
СВОБODНОВИХРЕВЫХ НАСОСОВ**

**А. Г. Гусак**, канд. техн. наук, доцент;  
**В. Ф. Герман**, канд. техн. наук, доцент;  
**А. И. Котенко**, канд. техн. наук, доцент;  
**С. М. Яхненко**, канд. техн. наук, доцент,  
 Сумский государственный университет,  
 ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина

В данной работе авторами рассматривается вопрос изменения (доводки) параметров свободновихревых насосов путем различных подрезок рабочего колеса.

**Ключевые слова:** свободновихревой насос, подрезка рабочего колеса, наружный диаметр рабочего колеса, внутренний диаметр рабочего колеса, ширина лопатки рабочего колеса, напор, подача, коэффициент полезного действия.

**ВВЕДЕНИЕ**

На практике часто возникает необходимость изменения первоначальных параметров насоса до конкретно требуемых в процессе эксплуатации или имеет место случай, когда работа выбранного насоса не соответствует расчетному режиму по подаче и напору. При этом необходимо изменять режим работы насоса путем изменения его характеристики. Одним из возможных и широко применяемых способов изменения характеристики центробежного насоса является подрезка рабочего колеса (РК) по наружному диаметру  $D_2$  [1; 2]. При подрезке колеса кривая характеристики насоса понижается и при некотором значении  $D_2$  пройдет через заданную режимную точку  $B$ , которая лежит ниже характеристики насоса (рис. 1).

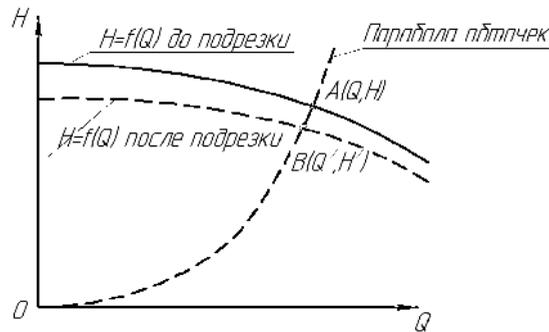


Рисунок 1 – Изменение характеристики насоса при подрезке РК

Данный способ изменения (доводки) параметров применяется и для свободновихревых насосов (СВН) [3; 4; 5]. Однако конструктивные особенности СВН позволяют проводить несколько видов подрезок рабочего колеса (РК): по наружному диаметру  $D_2$ , внутреннему диаметру

$D_1$ , ширине лопатки  $b_2$ , наклонную подрезку лопаток на входе и выходе колеса. Кроме того, изменение параметров СВН возможно и путем выдвижение РК в свободную камеру [3; 5; 6; 7]. При этом изменяется конструктивная схема насоса. Схема «Туго», в которой РК расположено в расточке задней стенки корпуса, преобразуется в конструктивную схему «Seka» с полностью выдвинутым колесом. РК может быть и частично выдвинуто в камеру (схема «ВНИИГидромаш») [7]. В связи с этим при доводке видоизмененных конструкций СВН используются и различные зависимости для пересчета характеристик.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время существует несколько рекомендаций по пересчету параметров СВН при подрезке РК [3; 4], но они противоречивы и касаются в основном подрезки по наружному диаметру  $D_2$ . Их нельзя применять к другим видам подрезок. Поэтому была поставлена задача проанализировать и уточнить рекомендации по изменению параметров СВН для каждого вида подрезок с учетом исследований, проведенных на гидравлическом стенде кафедры прикладной гидроаэромеханики СумГУ [5; 7; 8]. Конструкция проточной части экспериментального насоса (рис. 2) позволяла проводить различные виды испытаний. В качестве объекта исследований были приняты свободновихревые насосы конструктивных схем «Туго», «Seka» и «ВНИИГидромаш».

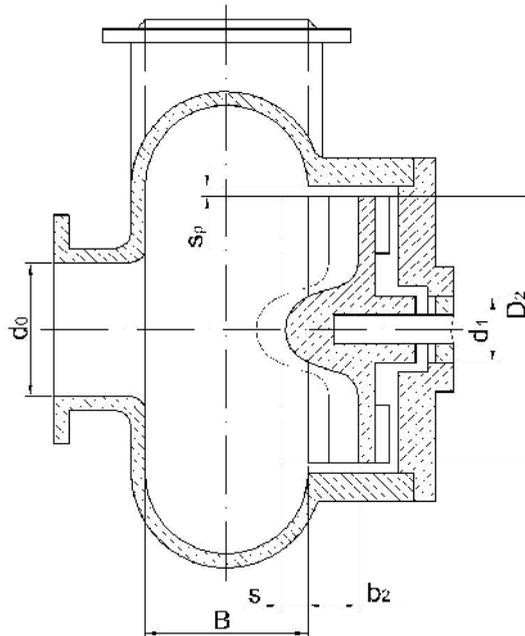


Рисунок 2 - Основные геометрические размеры проточной части модельного насоса

#### ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние каждого из перечисленных способов доводки насоса на его характеристики показано на рис. 3 – 9.

1. Выдвижение РК СВН может использоваться как один из способов доводки параметров данного насоса – подачи  $Q$  и напора  $H$ . Как следует из рис. 3, выдвижение РК внутрь свободной камеры позволяет повысить напор и КПД насоса. Максимальные значения (согласно эксперименту,  $\bar{H} = 1,15$ ,  $\bar{\eta} = 0,535$ ) они достигают при полностью выдвинутом колесе.

Здесь  $\bar{H} = \frac{7200}{2} \frac{gH}{n^2 D_2^2}$ ,  $\bar{Q} = \frac{240}{\pi^2} \frac{Q}{n D_2^3}$ ,  $n$  - частота вращения, об./мин.

С увеличением величины выдвигения оптимальное значение подачи сдвигается вправо. Наблюдаемый при выдвигении РК рост КПД насоса можно объяснить тем, что в данном случае уменьшается количество циклов вращения жидкости в свободной камере насоса и большая часть ее направляется непосредственно в отвод. Это сказывается на уменьшении гидравлических потерь в насосе и, как следствие, увеличении его КПД. Следует отметить, что выдвигение РК в свободную камеру ухудшает способность насоса перекачивать жидкости с крупными и волокнистыми включениями.

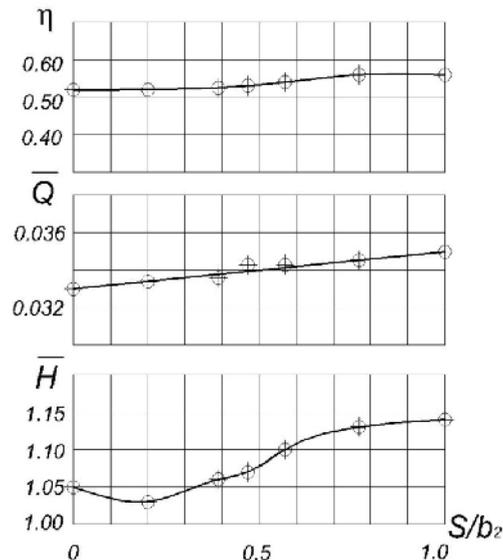


Рисунок 3 - Влияние выдвигения РК в свободную камеру на характеристики СВН

2. Как указывалось выше, часто применяемым способом доводки как центробежного, так и свободновихревого насосов, является подрезка РК по наружному диаметру  $D_2$ . Анализ результатов подрезок РК СВН по наружному диаметру показывает, что уменьшение оптимального напора  $H$  пропорционально отношению квадратов диаметров РК, а изменение величины подачи  $Q$  в точке максимального КПД несколько другое. Для приблизительных оценок величины подрезки РК можно использовать линейную зависимость [2]:

$$\frac{H'}{H} = \frac{Q'}{Q} = \left( \frac{D_2'}{D_2} \right)^2.$$

Данная зависимость не согласуется с результатами [1]. Поэтому для уточнения ее применимости были проведены дополнительные исследования, которые для разных конструктивных схем СВН выявили некоторые общие особенности изменения напора и КПД. Кривые изменения КПД для всех схем имеют область, в которой его значение остается постоянным или изменяется незначительно. Для схемы «Туго» (рис. 4) эта область находится в пределах изменения  $D_2'/D_2 = 0,95 - 0,9$ , для схемы «ВНИИГидромаш» -  $D_2'/D_2 = 0,95 - 0,8$ , для схемы «Сека» -

$D_2'/D_2 = 1,0 - 0,84$ . При подрезках выше указанных пределов КПД резко уменьшается.

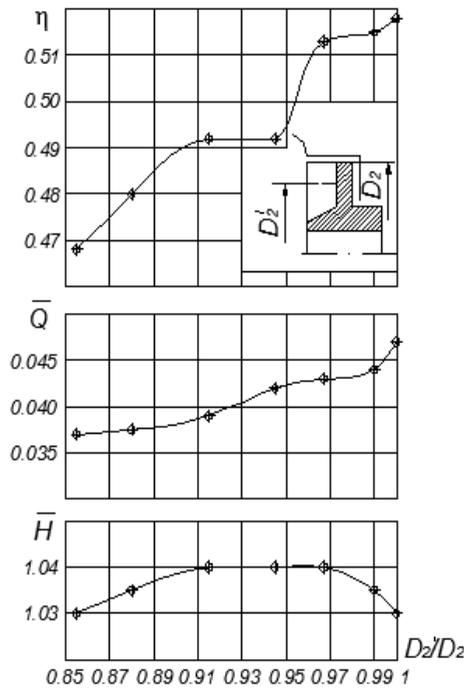


Рисунок 4 - Изменение параметров СВН типа «Туро» при подрезке РК по наружному диаметру

Напор насоса при подрезках первоначально несколько увеличивается, далее имеет место область его максимального значения, а затем он уменьшается. Ступенчатое изменение напора при подрезках РК обуславливает и изменение формул для пересчета характеристик СВН.

Для схемы «Туро» при подрезке РК на величину  $D_2'/D_2 = 1,0 - 0,95$  рекомендуется применять зависимости

$$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^{1,25}; \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^{1,5},$$

а при подрезках в диапазоне  $D_2'/D_2 = 0,95 - 0,80$

$$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^{1,5}; \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2$$

Подрезку РК по наружному диаметру  $D_2$  для схемы «Туро» целесообразно проводить до величины  $D_2'/D_2 = 0,85 - 0,8$ . При дальнейшем уменьшении  $D_2$  происходит резкое снижение КПД и напора насоса.

Изменение параметров насоса при подрезке РК по наружному диаметру  $D_2$  для схемы «ВНИГидромаш» аналогично схеме «Туро». При подрезке в диапазонах  $D_2'/D_2 = 1,0 - 0,95$  и  $D_2'/D_2 = 0,95 - 0,8$  необходимо применять аналогичные формулы.

Для конструктивной схемы «Seka» при подрезках РК по диаметру  $D_2$  также наблюдается ступенчатое изменение параметров насоса. Во всем диапазоне изменения подрезок  $D_2'/D_2 = 1,0 - 0,84$  пересчет напора необходимо проводить по формуле  $H'/H = (D_2'/D_2)^2$ , а пересчет подачи при подрезке РК до 10 % – по зависимости  $Q'/Q = D_2'/D_2$  и при подрезке РК свыше 10 % – по выражению  $Q'/Q = (D_2'/D_2)^{1,25}$ .

3. Конструктивные особенности СВН позволяют производить подрезку по переднему торцу лопаток РК или так называемую подрезку по ширине лопаток  $b_2$ . Характер изменения параметров насоса при подрезке по ширине лопаток  $b_2$  (рис. 5) аналогичен подрезкам по  $D_2$ , но изменение параметров плавное. При этом для оценки влияния подрезки по  $b_2$  на параметры СВН типа «Туго», можно использовать следующие зависимости:

$$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{b_2'}{b_2}\right)^{1/6}; \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{b_2'}{b_2}\right)^{1/3}.$$

Рекомендуемая величина подрезки при снижении КПД до 5 % составляет –  $b_2'/b_2 = 0,6$ . Данный вид подрезки может эффективно применяться при доводке насосов.

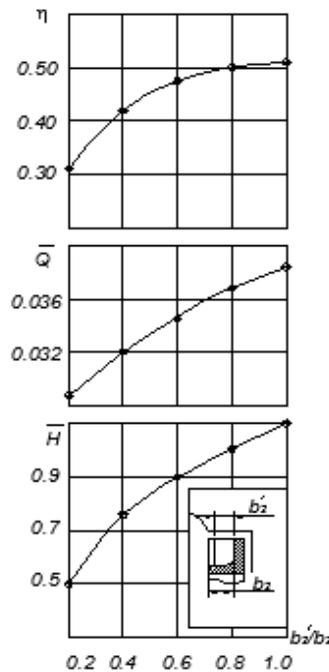


Рисунок 5 - Зависимость изменения параметров СВН типа «Туго» от подрезки РК по ширине лопаток

Для конструктивной схемы «Seka» при подрезке РК по ширине лопаток  $b_2$  (рис. 6) происходит уменьшение напора и КПД насоса. Характер изменения подачи отличен от изменения напора.

Первоначально наблюдается увеличение оптимальной подачи до величины подрезки  $b'_2/b_2 = 0,8$ , а потом ее снижение. КПД насоса при подрезке непрерывно уменьшается (при максимальной подрезке – на 10 %). Рекомендуемая величина подрезки при снижении КПД до 5 % составляет  $b'_2/b_2 = 0,6 - 0,65$ .

4. При выполнении подрезки лопаток РК по внутреннему диаметру  $D_1$  (рис. 7) до величины подрезки  $D_1/D'_1 = 0,5$  параметры насоса «Туго» изменяются незначительно (изменение  $\bar{H}$  составляет 1%,  $\bar{Q}$  – 2,6%,  $\eta$  – 2,3%), Дальнейшее увеличение подрезки приводит к резкому падению оптимальных параметров насоса вследствие изменения структуры потока на входе в колесо. Поэтому данная подрезка малоэффективна для доводки СВН и применение ее на практике нецелесообразно.

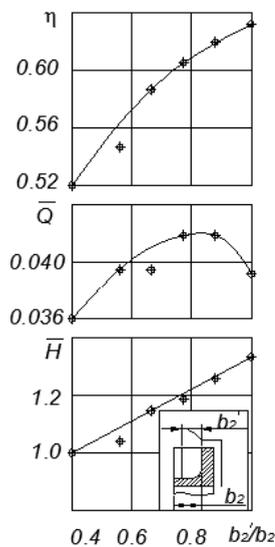


Рисунок 6 – Зависимость оптимальных параметров СВН типа «Seka» от подрезки РК по ширине лопаток

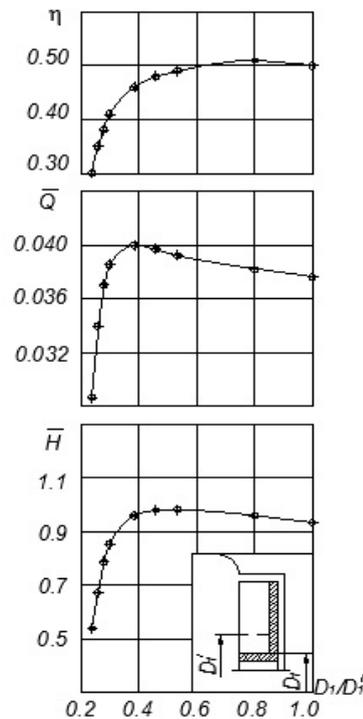


Рисунок 7 – Изменение оптимальных параметров СВН типа «Туго» при прямой подрезке лопаток РК на входе

Кроме прямой подрезки, в СВН возможна и наклонная подрезка лопаток РК на входе. Исследования проводились для конструктивной схемы «Туго». Данный вид подрезки определяет форму входной кромки лопаток РК. Подрезка начального диаметра лопаток  $D_1$  проводилась в интервале  $D_1/D_2 = 0,2 - 0,6$ . Анализ результатов (рис. 8) показал, что до подрезки  $D_1/D_2 = 0,45$  наблюдается увеличение подачи, напора и КПД насоса. Так, повышение напора составляет 5%, КПД – 3%. При дальнейшем увеличении подрезки происходит снижение напора и КПД при резком увеличении подачи насоса. Следовательно, наклонную

подрезку лопаток РК по внутреннему диаметру целесообразно проводить до  $D_1/D_2 = 0,45$ , особенно для насосов, перекачивающих жидкости с длиноволокнистыми включениями. При этом входная кромка лопаток РК располагается наклонно к оси вращения и исключает обволакивание лопаток.

5. Для СВН типа «Seка» исследовалось влияние угловой подрезки лопаток РК на выходе. Подрезка РК осуществлялась от радиуса центра циркуляции  $R_0$  до наружного радиуса колеса. Положение центра циркуляции определялось по формуле

$$R_0 = \sqrt{(R_1^2 + R_2^2)/2},$$

где  $R_1$ - начальный радиус лопаток РК,  $R_2$ - наружный радиус лопаток РК.

На рис. 9 представлены зависимости оптимальных параметров СВН от величины отношения срезанного участка лопатки  $b_2^*$  к полной ее ширине  $b_2$ . Анализ кривых изменения оптимальных параметров насоса в зависимости от величины отношения  $b_2^*/b_2$  показал, что угловую подрезку лопаток РК на выходе целесообразно проводить в пределах  $b_2^*/b_2 \leq 0,8$ . При дальнейшей подрезке происходит резкое снижение параметров насоса.

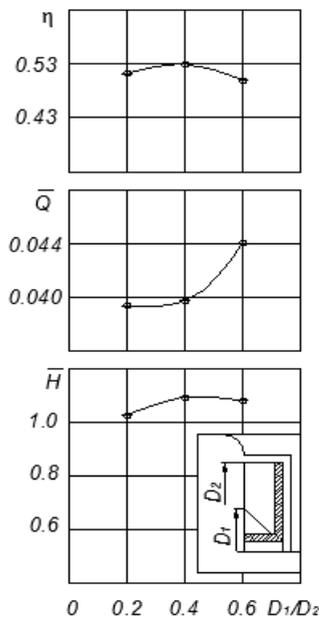


Рисунок 8 – Изменение оптимальных параметров СВН типа «Туго» от величины наклонной подрезки лопаток РК на входе

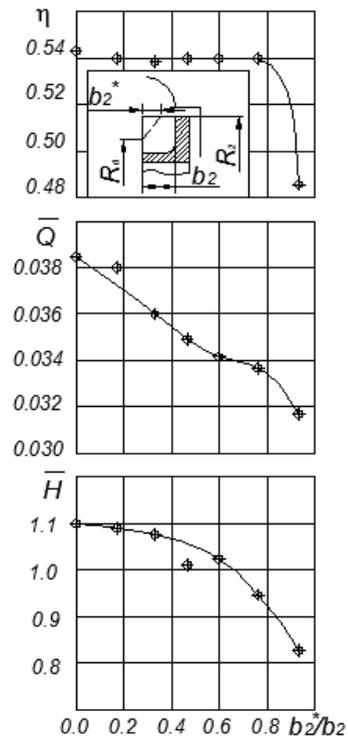


Рисунок 9 – Зависимость оптимальных параметров СВН типа «Seка» от величины наклонной подрезки лопаток РК на выходе

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили установить влияние на внешние характеристики СВН выдвигания РК в свободную камеру и различных видов подрезок РК: по наружному диаметру  $D_2$ , внутреннему диаметру  $D_1$ , ширине лопатки  $b_2$ , наклонной подрезки лопаток на входе и выходе колеса.

2. Установлены предельные значения подрезок РК, не приводящие к резкому уменьшению КПД.

## EXTENSION OF THE FIELD OF APPLICATION OF FREE-FLOW PUMPS

**A. G. Gusak, V. F. German, A. I. Kotenko, S. M. Yahunenko,**  
Sumy State University,  
2 R. - Korsakov Str., 40007 Sumy, Ukraine

*In this paper, the authors address the issue of change (tuning) parameters through various free-flow pump impeller facing.*

**Key words:** free-flow pump impeller trimming, the outside diameter of the impeller, the internal diameter of the impeller, the impeller blade width, pressure, flow, efficiency.

## РОЗШИРЕННЯ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ

**О. Г. Гусак, В. Ф. Герман, О. І. Котенко, С. М. Яхненко,**  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

*У даній роботі авторами розглядається питання зміни (доведення) параметрів вільновихрових насосів шляхом різних підрізувань робочого колеса.*

**Ключові слова:** вільновихровий насос, підрізка робочого колеса, зовнішній діаметр робочого колеса, внутрішній діаметр робочого колеса, ширина лопатки робочого колеса, напір, подача, коефіцієнт корисної дії.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. К. Конструкция и расчет центробежных насосов высокого давления / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – М. : Машиностроение, 1971. – 304 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
3. Rutschi K. Die Arbeitweise von Freistrompumpen / K. Rutschi // Bauzeitung, Schweiz : 1968. – Vol. 86, No. 32 – P. 575-582.
4. Wegener G. Einsatz von Turbo-Pumpen in der Industrie /G. Wegener // Allgemeine Papier, Rundschau. – 1968. – No. 40. – P. 1208-1210.
5. Герман В. Ф. Создание и исследование сточномассовых свободновихревых насосов повышенной экономичности: дисс. ... канд. техн. наук / В. Ф. Герман ; СумГУ. – Сумы, 1984. – 154с.
6. Zarzycki M. Badania pompy kretnej o swobodnym przeplywie produkowanej seryjme / M. Zarzycki, J. Rokita, S. Morzy ski // Zesz. nauk. PSJ. – 1974. – No. 425. – P. 103-119.
7. Яхненко С. М. Гидродинамические аспекты блочно-модульного конструирования динамических насосов: дисс. ... канд. техн. наук / С. М. Яхненко; СумГУ. – Сумы, 2003. – 210 с.
8. Вертячих А. В. Влияние подрезки рабочего колеса на параметры свободновихревого насоса / А. В. Вертячих, В. Ф. Герман, С. М. Яхненко // Гидравлические машины. – Харьков: Вища школа, 1988. – Вып. 22. – С. 116-118.

*Поступила в редакцию 18 марта 2013 г.*