

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБODНОВИХРЕВОГО НАСОСА ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

А. С. Мандрыка, канд. техн. наук, доцент;

С. В. Сапожников, канд. техн. наук, доцент;

А. И. Котенко, канд. техн. наук, доцент,

Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

Рассматривается проблема создания насосного оборудования для транспортирования крупных легкоповреждаемых материалов и продуктов. Приводятся результаты разработки и исследования на воде опытного образца свободновихревого насоса (СВН) для гидротранспорта сахарной свеклы. На основании анализа характеристик $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$ различных вариантов СВН определяются наиболее перспективные, компромиссные варианты.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием ряда отраслей промышленности возникла необходимость транспортирования значительных объемов разнородных гидросмесей с крупными твердыми включениями (фракциями). Это потребовало создания специального оборудования и прежде всего насосного. Основными требованиями, предъявляемыми к такого рода оборудованию, являются: отсутствие забивания (закупоривания) проходных каналов, минимальное повреждение транспортируемого продукта, меньший износ проточной части и др.

Наиболее полно отвечают указанным требованиям свободновихревые насосы (СВН). Исходя из того, что СВН имеют широкие проходные каналы (во избежание закупоривания) и что основной поток гидросмеси проходит в них мимо рабочего колеса (р.к.), можно полагать, что эти насосы наиболее применимы для гидротранспорта волокнистых сред, крупных легкоповреждаемых продуктов, в том числе сахарной свеклы. Кроме того, простота конструкции СВН обеспечивает их высокую технологичность, низкую материалоемкость, высокие эксплуатационные качества.

Настоящая работа является попыткой создания СВН для гидравлического транспорта сахарной свеклы в технологической линии сахарных заводов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Состояние вопроса. Поскольку в отечественной практике отсутствует опыт создания насосов такого типа, был произведен тщательный литературно-патентный поиск. Однако он не выявил конкретных данных по этому вопросу. Не было обнаружено ни одного решения, которое могло бы служить аналогом для разрабатываемого СВН.

Среди немногочисленных работ по свободновихревым насосам следует выделить публикации, относящиеся к исследованию рабочего процесса [1-3].

Внимания заслуживают исследования по изучению влияния геометрических параметров и режима работы СВН на энергетические характеристики [4, 5, 6]. Содержащийся в них материал о влиянии ширины лопасти р. к., ее формы и количества, угла установки и угла наклона лопасти на напор и коэффициент полезного действия (к. п. д.) насоса использован и в разрабатываемом СВН.

Интерес представляют публикации по изучению влияния защитных устройств на характеристики СВН [7, 8]. Вместе с тем в данных работах

полностью отсутствует какая-либо информация о повреждаемости транспортируемых материалов и продуктов при прохождении через насос.

Постановка задачи. Из вышеизложенного, а также анализа особенностей СВН для гидравлического транспорта крупных легкоповреждаемых продуктов [8] следует, что создание такого насоса для перекачивания свекловодяной смеси в свеклосахарном производстве является сложной технической проблемой. Сложность прежде всего заключается в том, что вынужденное расширение и максимальное сглаживание (округление) гидравлических каналов для свободного прохождения сахарной свеклы и ее минимального повреждения требуют пересмотра общепринятых геометрических форм проточной части и, как следствие, отказа от известных методов расчета СВН [4, 5, 9, 10].

Решение проблемы предопределило постановку следующих задач:

- обеспечение заданного напора H насоса при расчетной подаче $Q_{расч}$;
- минимальное повреждение транспортируемого продукта (сахарной свеклы);
- обеспечение заданного к. п. д.;
- экспериментальная отработка р.к. со сглаженной, компромиссной формой лопасти;
- определение влияния защитных устройств на энергетические характеристики СВН и повреждение сахарной свеклы и др.

Модельные исследования. Некоторые из перечисленных вопросов решались на стадии модельных исследований СВН [7,8]. Эти исследования позволили ответить на ряд вопросов, касающихся влияния формы лопастей р.к., геометрии и расположения вращающегося защитного диска на характеристики СВН. Результаты модельных исследований были использованы при разработке опытного образца СВН.

Разработка опытного образца СВН. При разработке опытного образца были рассмотрены и проанализированы типовые конструктивные схемы СВН: "Wemko", "Turo", "Seka". На основании сравнительного анализа, а также учитывая жесткие требования по металлоемкости, предпочтение было отдано схеме "Turo", обеспечивающей при прочих равных условиях лучшие экономические показатели.

Опытный СВН был рассчитан на параметры: $Q_{расч} = 900$ м³/ч, напор $H_{расч} = 20$ м, частота вращения ротора $n = 450$ об/мин. Расчеты проводились в соответствии с методикой, изложенной в работах [9, 10]. Полученные геометрические размеры проточной части далее корректировались с учетом требований незакупориваемости свеклы. В итоге проточная часть опытного СВН имела следующие размеры: диаметр р.к. $D_2 = 0,90$ м; диаметр кольцевого отвода $D_3 = 1,2$ м; ширина свободной камеры $b_3 = 0,40$ м; диаметр входного патрубка $D_{вх} = 0,50$ м; диаметр выходного патрубка $D_{вых} = 0,40$ м.

Перед р.к. на расстоянии $l = 0,23D_2$ располагался вращающийся защитный диск, призванный предохранять свекловичные корни от контакта с лопастями р.к. (основного источника повреждений свеклы). Защитный диск жестко крепился на валу насоса и вращался синхронно с р.к. Диаметр диска $D_\partial = 0,68D_2$. Такие величины l , D_∂ были взяты на основании анализа результатов модельных исследований [7].

Защитный диск был выполнен в форме обтекателя со сквозными концентричными отверстиями (щелями) для подтока жидкости к р.к. Суммарная площадь щелей составляла примерно 15% от площади лицевой поверхности диска (обращена в сторону свободной камеры).

Исследование опытного образца насоса. Исследование ставило целью определение экспериментальным путем компромиссной проточной части, которая бы обеспечила максимальную сохранность транспортируемого продукта при возможно лучших энергетических показателях. Для этого проводились испытания опытного образца насоса на стенде завода-изготовителя (машзавод им. К. Либкнехта, Россия). Рабочей жидкостью являлась вода. Насос испытывался при рабочей частоте вращения $n=450$ об/мин в соответствии с ГОСТ 6134-71. Погрешности определения основных параметров (Q, H, N, η) подсчитывались согласно методике [11].

Испытанию подвергался опытный образец СВН с тремя вариантами проточной части. Варианты отличались между собой рабочими колесами и защитным диском.

Первому варианту (вар. I) соответствовало р.к. № 1 и защитный диск, второму варианту (вар. II) – р. к. № 2 и третьему варианту (вар. III) – р. к. № 2 и защитный диск.

Рабочее колесо №1 имело двенадцать плоских равномерно расположенных лопастей высотой 0,12 м и толщиной 0,02 м. У р. к. № 2 было такое же количество лопастей, одинаково расположенных, но имеющих профиль поперечного сечения в виде треугольника со сглаженной вершиной [12]. Высота лопастей – 0,12 м, толщина у основания 0,04 м. Для уравнивания осевой силы, возникающей в период работы насоса, оба р.к. имели на тыльной стороне по шесть лопаток импеллера.

Результаты испытаний опытного образца СВН представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что вар. I по энергетическим качествам превосходит остальные варианты. Напор H и к. п. д. насоса с этой проточной частью во всем диапазоне изменения подачи Q выше, а мощность N ниже, чем в случае вар. II и вар. III. В режиме расчетной подачи $Q_{расч}=900$ м³/ч напор опытного СВН мало отличается от $H_{расч}$ (20,4 м против 20 м), а к. п. д. равен 40%.

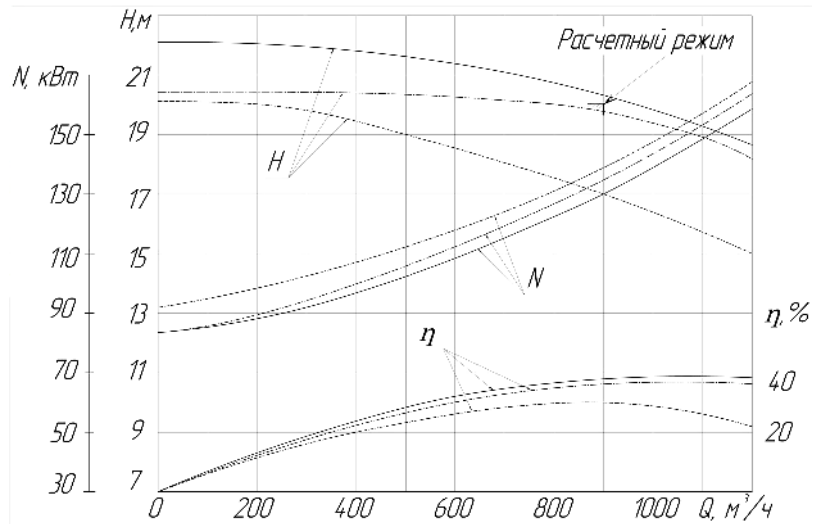


Рисунок – 1 Характеристики опытного СВН с различными вариантами проточной части:

— вар.1 — ····· вар.2 — - - - - вар.3

В то же время вар. II и вар. III не обеспечивают требуемого напора насоса в режиме расчетной подачи. У СВН с проточной частью вар. II при $Q_{расч}$ напор меньше расчетного на 0,35 м (или на 1,8 %), а с проточной

частью вар. III – меньше от расчетной его величины $H_{расч}$ на 3 м (или на 15 %).

Обращает на себя внимание несколько смещенный вправо, т. е. в сторону больших подач, оптимальный режим работы СВН. Причем, это характерно для трех вариантов проточной части. Сравнительно меньшее смещение наблюдается для вар. III. Отмеченное смещение оптимального к. п. д. СВН объясняется заведомо увеличенной шириной свободной камеры.

Из сопоставления графических зависимостей $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$ для вариантов II и III можно сделать вывод о влиянии вращающегося защитного диска на характеристики СВН. Как и следовало ожидать, и как это видно из рис. 1, насос с р. к. №2 и защитным диском (вар. III) по напору H и к. п. д. намного уступают р.к. № 2 без защитного диска (вар. II). В режиме расчетной подачи напор СВН с защитным диском меньше, чем у СВН без защитного диска, на 2,5 м (т. е. на 12,5 %), а к. п. д. – меньше на 6 %.

Таким образом, установка вращающегося защитного диска перед р. к. отрицательно сказывается на энергетических показателях СВН: напор и к. п. д. насоса падают.

В процессе обработки результатов исследований было признано целесообразным испытать опытный СВН с вар. I проточной части и увеличенным до $0,83D_2$ диаметром защитного диска. Это было выполнено с точки зрения обеспечения максимальной сохранности транспортируемого продукта. В увеличенном диске были выполнены дополнительные щели (аналогичные имеющимся, но расположенные на большем радиусе) для подтока жидкости к р. к. с таким расчетом, чтобы суммарная площадь всех щелей в диске оставалась равной ~ 14 % площади его лицевой поверхности.

Построенные по результатам испытаний экспериментальные графики $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$ приведены на рис. 2. Для сравнения на рис. 2 даны такие же графики для СВН с вар. I проточной части, у которого $D_{\partial}=0,68D_2$.

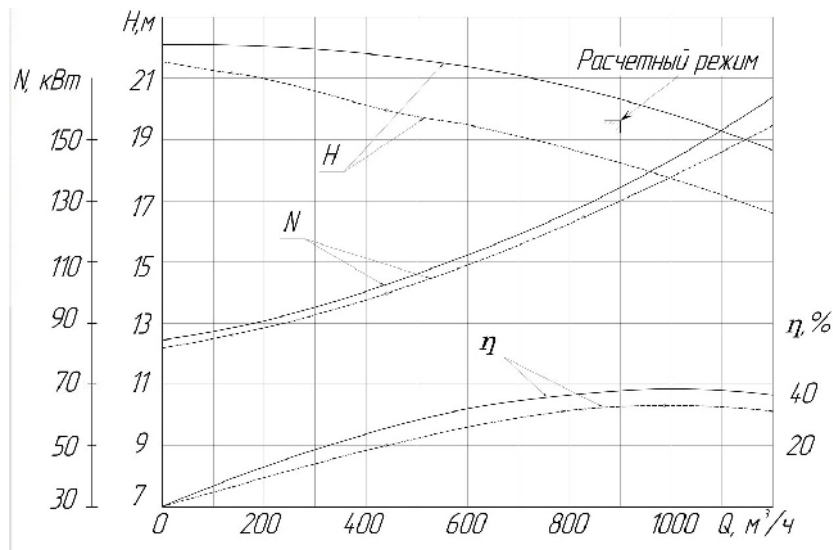


Рисунок – 2 Характеристики опытного СВН с различными диаметрами защитного диска:

— $D_{\partial}=0,68 D_2$; - - - $D_{\partial}=0,83 D_2$

По результатам исследований видно, что увеличение D_0 привело к ухудшению энергетических показателей насоса во всем диапазоне подач. В расчетном режиме по подаче ($Q_{расч}=900 \text{ м}^3/\text{ч}$) напор H уменьшился на $\sim 10\%$, а к. п. д. – на $\sim 5\%$.

На основании анализа экспериментального материала по исследованию опытного образца СВН с тремя вариантами проточной части предпочтение было отдано вар. I, обеспечивающему лучшие энергетические качества. Однако не сбрасывали со счетов и вар. II, который в расчетном режиме ненамного уступал вар. I, но имел перспективу с точки зрения уменьшения повреждений сахарной свеклы. Поэтому оба эти варианта проточной части были рекомендованы для реализации в натурном СВН и последующих испытаний на промышленном объекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирован имеющийся теоретический и экспериментальный материал по применению насосов СВН для гидравлического транспорта крупных легкоповреждаемых материалов и продуктов. Проведенный анализ не выявил ни одного решения, которое могло бы служить прототипом для разрабатываемого насоса.

Рассмотрены возможные варианты проточной части СВН, исходя из условий незабываемости (незакупоривания), минимального повреждения транспортируемой сахарной свеклы и приемлемой экономичности. В итоге для реализации в составе опытного образца насоса и последующих испытаний было принято несколько вариантов проточной части.

Проведены энергетические испытания различных модификаций опытного образца СВН для гидротранспорта сахарной свеклы. На основании анализа результатов испытаний определены два компромиссных решения СВН, которые рекомендованы для экспериментальной проверки в промышленных условиях.

SUMMARY

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE VORTEX PUMP FOR HYDRAULIC TRANSPORTATION OF THE SUGAR BEET

*Mandryk A. S., Sapozhnikov, S. V. Kotenko A. I.,
Sumy State University, Sumy, Ukraine*

A number of problematic issues that have taken place in the development of the vortex pump for hydraulic transportation of the sugar beet is considered. The results of research and development on the hydraulic stand of the manufacturer of the first prototype of vortex pump for hydraulic transportation of the beets are adduced. Based on the analysis of graphic dependences $H - Q, N - Q, \eta - Q$ of the pump with different operating devices the most promising trade-offs are detected.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рючи К. Принцип действия насосов свободного потока / К. Рючи // Schweizerische Bauzeitung. – Zürich, 1968. – Vol. 86. – No. 32.
2. Пресман Л. С. Смерчевые (свободновихревые) насосы / Л. С. Пресман // Труды ВНИИгидромаш. – М.: ВНИИТ, 1967. – Вып. 36. – С.46-65.
3. Грабов Г. Исследования насосов свободного потока // Pumpen und Verdichter, Internationale Symposium. - Leipzig, 1970.
4. Рокита Е. Влияние ширины рабочего колеса и корпуса на рабочие параметры насоса свободного потока // Prace Instytutu Maszyn Przemysłowych. - Zeszyt, 1975. - 67-68.
5. Скивли Г. П. Теоретическое и экспериментальное исследование вихревого насоса / Г. П. Скивли, Я. Л. Дюссор // Труды АОИМ. Серия Д. -1970. - № 4.
6. Мандрыка А. С. Влияние профиля лопаток рабочего колеса свободновихревого насоса на его характеристики / Мандрыка А. С., Новак В. А. и др. // Респуб. межвед. научно-технич. сборник «Гидравлические машины». – Харьков: Вища школа, 1989. - Вып. 23.
7. Мандрыка А. С. Исследование влияния вращающихся защитных устройств на энергетические показатели свободновихревого насоса / А. С. Мандрыка,

- С. В. Сапожников // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. - 2011. - № 4. - С.77-82. - Режим доступа: <http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/25146/3/Mandryka.pdf>
8. Ковалёв И. А. Анализ конструктивных схем свободновихревых насосов для гидротранспорта крупных легкоповреждаемых продуктов / И. А. Ковалёв, А. С. Мандрыка, С. В. Сапожников // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. - 2011. - №4. - С.34-41. - Режим доступа: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/25127>
 9. Степневский М. Центробежные насосы свободного потока // Przegląd Mechaniczny, 1969. - №18.
 10. Корбутовский А. А. Определение параметров свободновихревого насоса //Серия ХМ-4.- М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1978. - № 2.
 11. Руднев С. С., Подвидз Л. Г. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / С. С.Руднев, Л. Г. Подвидз. - М: Машиностроение, 1974.
 12. А. с. №1343110, СССР, кл. F04 D7/04. Свободновихревой насос, 1987.

Поступила в редакцию 30 марта 2012 г.