



jet.com.ua

# ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ ЖУРНАЛ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1729-3774

информационные технологии  
інформаційні технології

information  
technologies

новая экономика  
нова економіка

промышленные технологии  
промислові технології

industrial  
applications

4/8(52)  
2011

- Энергосберегающие технологии и оборудование

4/8 (52) 2011

## Содержание

### ЕНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 4      Оцінка дії вітру на процес перемішування водних мас у водоймищі-охолоджувачі  
        Антонова Л. Н., Михайський Д. В., Канюк Г. І., Омельченко Л. М.,  
        Червоний В. В., Місько А. Р.
- 7      Методика розрахунку параметрів теплоносіїв у скрубєрних процесах  
        Кузьменко І. М., Ногін М. В., Крячок О. О., Зозуля Т. Л.
- 10     Підвищення ефективності використання палива в активній зоні реактора  
        Васильєв А. Ф., Кондратюк В. А.
- 14     Энергосбережение и энергосберегающие технологии: перспективы инновационного развития  
        Ачкасов И. А., Пушкарь Т. А.
- 18     Повышение энергоэффективности цикла оборотного водоснабжения  
        горнообогатительного комбината  
        Бойко В. С., Сотник Н. П., Хованский С. А.
- 21     Математична модель розрахунку зворотних витоків через кульовий клапан розчинонасоса  
        Васильєв Є. А.
- 24     Прогнозування і розрахунок фотоелектричного перетворювача  
        із заданими характеристиками  
        Буджак Я. С., Єрохов В. Ю., Мельник І. І.

- 29      Експериментальне дослідження «умовних втрат» електроенергії в тяговій мережі  
Кузнецов В. Г., Сергачий Ю. М., Кирилюк Т. І.
- 33      Поиск путей расширения диапазона рабочих параметров свободновихревых насосов  
типа «Туго»  
Герман В. Ф., Гусак А. Г., Евтушенко А. А., Панченко В. О.
- 38      Исследование массообмена на контактных элементах с конусными телами  
Цейтлин М. А., Райко В. Ф., Марван Э. Д.
- 42      Регулювання теплового навантаження котлоагрегата на основі оцінки моделі об'єкта  
Степанець О. В., Мовчан А. П.
- 45      Техніко-економічна оцінка енергозберігаючої технології комбінованого теплопостачання  
Чайковська Є. Є., Іщук Н. Ф.
- 48      О взаимодействиях и динамике молекул в чистой воде  
Малафаев Н. Т.
- 58      Минимизация времени профилактического контроля параметров жидкой изоляции  
энергетических объектов  
Щалов П. Ф., Чунихина Т. В.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**А. Б. Бойнюк**

Доктор технических наук, профессор,  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**Т. В. Буцько**

Доктор технических наук, профессор,  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**М. Д. Годзевский**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**В. Г. Дьяко**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Д. А. Демин**

Кандидат технических наук, доцент,  
Технологический Центр, УКРАИНА

**А. А. Дудинко**

Кандидат технических наук, профессор,  
Полтавская государственная аграрная академия, УКРАИНА

**Ж. Кардосо**

Professor in Faculty of Science and Technology  
of the University of Coimbra, PORTUGAL

**М. Д. Кац**

Доктор технических наук, профессор,  
Высшечукраинский национальный университет им. В. И. Дани, УКРАИНА

**Б. В. Клименко**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Г. И. Львов**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**П. Г. Перерва**

Доктор экономических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**А. А. Пермяков**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**М. А. Подрицало**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный автомобильный технический университет, УКРАИНА

**А. Е. Попов**

Кандидат экономических наук, доцент,  
Харьковский государственный экономический университет, УКРАИНА

**Л. А. Рыбак**

Доктор технических наук, профессор,  
Саратовский технологический институт, РОССИЯ

**В. В. Самородов**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**В. П. Самосюк**

Доктор технических наук, профессор,  
Государственный научно-исследовательский центр  
железнодорожного транспорта Украины, УКРАИНА

**Ю. В. Соболев**

Доктор технических наук, профессор,  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**В. В. Стариков**

Кандидат физико-математических наук, доцент,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Р. Д. Сятник**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**А. Д. Телишев**

Доктор технических наук, профессор,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА

**Т. А. Терещенко**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», УКРАИНА

**В. Я. Терашин**

Доктор технических наук, профессор,  
Университет Ювяскюля, «ФИЛАНДИЯ»  
Харьковский Национальный университет радиоэлектроника, УКРАИНА

**И. А. Фурман**

Доктор технических наук, профессор,  
Харьковский государственный технический университет  
сельского хозяйства, УКРАИНА

#### Главный редактор

**И. Г. Филиппенко**

Доктор технических наук, профессор,  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

#### Учредители

ЧП «Технологический Центр»  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта

#### Верстка

**Т. Е. Сургиско**

#### Аттестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины  
Перечень № 12 постановления Президиума ВАК № 1-05.36  
от 11.06.03

#### Аттестовано

Постановлением Президиума ВАК Украины  
№ 1-05/2 от 27.05.2009, № 1-05/3 от 08.07.2009,  
Бюллетень ВАК Украины № 8, 2009

#### Рекомендовано

Ученым Советом  
протокол № 6 от 29.06.2011

Свидетельство о государственной регистрации журнала  
КВ № 17140-5910 ПР от 17.09.2010

#### Адрес редакции и издательства:

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а,  
Технологический Центр  
Тел.: +38 (057) 750-89-90

**E-mail:** nauka@jet.com.ua

**Сайт:** http://www.jet.com.ua

Подписано в печать 04.07.2011 г. Формат 60 × 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Частичное или полное тиражирование любым способом  
материалов, опубликованных в этом издании, разрешается  
только с письменного согласия редакции

#### Подписка:

оформляется через подписные агентства  
«Идея», «Периодика»  
«Саммит», «Меркурий»  
или через редакцию

1. Для снижения рівня втрат необхідно один раз в квартал складати електробаланс і виявляти тенденцію в зміні витрати енергії на кожній ділянці живлення.
2. Усунути можливість несанкціонованого доступу до кін. обліку електроенергії на ЕРС.
3. Поетапно замінити інерційні лічильники електро- рухомого складу на мікропроцесорні.

#### Література

1. Черемисин В. Т. Контроль удельного расхода и «условных» потерь электроэнергии [Текст] / В. Т. Черемисин, С. И. Петров, А. Г. Зверев // Железнодорожный транспорт. — 2010. — № 10. — С. 47—50.
2. Броерская Н. А. О нормировании потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст] / Н. А. Броерская,

Г. Л. Штейнбух // Электрические станции. — 2003. — № 4. — С. 24—29.

3. Хацкелевич А. А. Повысить точность измерений расхода электроэнергии [Текст] / А. А. Хацкелевич, Б. Д. Никифоров // Локомотив. — 2003. — № 5. — С. 39—41.
4. Кузнецов В. Г. Экспериментальная проверка величины «условных потерь» электроэнергии в контактной сети [Текст] / В. Г. Кузнецов, Ю. Н. Сергачев // Материалы II Международной научно-практической конференции «Энергосбережение на железнодорожном транспорте». — 2011. — С. 38—40.
5. Инструкция розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання. Затв.: Наказ Укрзалізниці 29.05.2003 № 342-ЦЗ [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України. — К., 2003. — 52 с.

У даній статті наведена інформація стосовно нового технічного рішення, що розширює діапазон параметрів насосів типу «Туро», наведені дані про результати його використання.

**Ключові слова:** вільновихровий насос, колесо, відвід, характеристика.

В даній статті представлена інформація по новому технічному рішення, розширюючому діапазон параметрів насосів типу «Turo», приводяться дані про результатах його використання.

**Ключевые слова:** свободно-вихревой насос, колесо, отвод, характеристика.

This article provides information on new technical solutions that extend the range of parameters pumps «Turo», shows the results of its use.

**Keywords:** torque flow pump, impeller, outlet, characteristic.

#### 1. Введение

Сложившаяся практика эксплуатации насосов диктует необходимость (массогабаритные характеристики, КПД, срок службы, возможность исключения режимов неустойчивой работы) внедрения динамических насосов для перекачивания различных гидросмесей. Сферы применения: жилищно-коммунальное хозяйство, горно-обогатительные и химические производства, пищевая промышленность и др.

Ниже под гидросмесями понимается: смесь технической чистой воды с газом (газожидкостная смесь — ГЖС);

смесь технически чистой воды с твердыми включениями разных размеров, видов и свойств (смесь жидкости с твердыми включениями — ТЖС). Транспортировка гидросмесей приводит к ряду нежелательных явлений при эксплуатации насосов:

#### При перекачивании ГЖС:

- срыв параметров насоса при превышении объемного содержания газа в смеси больше некоторой критической величины ( $\beta_{кр}$ );
- изменение паспортной характеристики динамического насоса под влиянием наличия газа в перекачиваемой среде.

УДК 621.65

## ПОИСК ПУТЕЙ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНОВИХРЕВЫХ НАСОСОВ ТИПА «TURO»

**В. Ф. Герман**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**А. Г. Гусак**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**А. А. Евтушенко**

Кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

**В. О. Панченко**

Асистент\*

\*Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, Україна, 40007

Контактний тел.: 066-296-65-29

E-mail: pan\_va@mail.ru

**При перекачивании ТЖС:**

- абразивный износ;
- различные виды забивания проточной части динамического насоса (в зависимости от гранулометрического состава и концентрации твердой фазы в смеси, под влиянием кристаллизации перекачиваемой среды);
- изменение паспортной характеристики динамического насоса из-за наличия твердой фазы в перекачиваемой среде.

---

**2. Анализ исследований и публикаций**


---

С 1975 года на кафедре Прикладной гидроаэронауки (ПГА) Сумского государственного университета (СумГУ) ведутся исследования динамических насосов для перекачивания гидросмесей. В соответствии с мировой практикой наибольшее внимание уделялось свободновихревым насосам (СВН) типа «Tуго» [1] (рис. 1), которые оказались наиболее приспособленными для перекачивания гидросмесей. Результаты этих исследований наиболее полно в обобщенном виде изложены в работах [2–7].

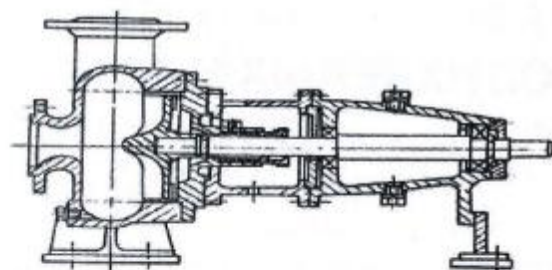


Рис. 1. Свободновихревой насос типа «Tуго»

Свободновихревые насосы, в целом, и типа «Tуго», в частности, в настоящий период являются широко применяемыми в разных отраслях промышленности и сельского хозяйства благодаря их технологичности в изготовлении и ремонтнопригодности, а также способности высокоэффективно работать на газожидкостных смесях [6] и на смесях «жидкость – твердые частицы» [5, 7]. Наиболее полное исследование рабочего процесса и разработка методики проектирования СВН типа «Tуго» выполнены в работе [5]. На данные этой работы мы и опираемся в настоящей статье.

По принципу действия гидромашин делятся на объемные и динамические, но отдельную группу представляют собой вихревые гидромашин [8]. СВН типа «Tуго» относятся к группе вихревых гидромашин, в которых осуществляется рабочий процесс, получивший название «вихревой рабочий процесс». Согласно [5], диапазон рабочих параметров, который может быть обеспечен в СВН типа «Tуго» с приемлемым уровнем КПД, характеризуется значениями  $n_s = 60 + 140$ , где  $n_s$  – известная [9] величина коэффициента быстроходности,

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}},$$

где  $n$  – частота вращения ротора насоса, об/мин,  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с,  $H$  – напор насоса, м.

При этом существует взаимосвязь [5]

$$(\eta_{\max})_{\text{онт}} = \frac{1}{-7,01 \cdot 10^{-3} \ln n_s + \frac{1,97}{n_s} + 302,42 \cdot 10^{-6} n_s},$$

где  $(\eta_{\max})_{\text{онт}}$  – максимальный КПД СВН типа «Tуго», при расчетной подаче  $Q_{\text{расч}}$ ;  $Q_{\text{расч}} = Q_{\text{онт}}$ ;  $Q_{\text{онт}}$  – подача, при которой достигается максимальный КПД насоса  $\eta_H = \eta_{\max}$ .

На практике  $\eta_{\max}$  получен при  $n_s = 100$  и он находится на уровне  $\eta_{\max} = 57–59\%$ . Укажем здесь, что нахождение связи  $(\eta_{\max})_{\text{онт}} = f(n_s)$  для насосов данного вида является достаточно условным понятием, что предопределено формой зависимости  $\eta = f(Q)$  в СВН типа «Tуго». Последняя заметно отличается от кривой, характерной для динамических насосов. В СВН типа «Tуго» в интервале рабочих подач КПД мало меняется с изменением подачи, что является дополнительным преимуществом таких насосов. Данное утверждение базируется на явлении наличия энергетической взаимосвязи работы конкретного динамического насоса в конкретной сети, которое выражается известным соотношением [8, 9]  $H_H = H_C$ , где  $H_H$  – напор насоса при заданной подаче  $Q_P$ ;  $H_C$  – сопротивление сети при  $Q_P$ . Равенство  $H_H = H_C$  должно соблюдаться при условии  $Q_P = Q_{\text{онт}}$ , тогда  $\eta_H = \eta_{\max}$ , где  $\eta_H$  – КПД насоса при заданной подаче, т. е. мы имеем наиболее экономичный режим эксплуатации данного насоса в данной сети. Если учесть, что очень часто имеет место случай  $H_C = \text{var}$  в процессе эксплуатации той или иной технической системы с динамическими насосами в ее составе [10, 11, 12], то в этих условиях применение СВН типа «Tуго» обеспечивает наилучший среднеэксплуатационный КПД насоса, т. е. обеспечивается энергосберегающий режим эксплуатации динамического насоса в составе сети, в которой в процессе ее эксплуатации имеет место зависимость  $H_C = \text{var}$  при  $t = \text{var}$ , где  $t$  – время эксплуатации сети.

В работе [13] были проанализированы данные [5] относительно выбора геометрических параметров при проектировании проточной части СВН типа «Tуго». Примечательным является полученный [13] результат – «в основе всех разработанных СВН типа «Tуго» лежит одна и та же модельная проточная часть». Следовательно, справедливым представляется и окончательный вывод работы [13] – «задача совершенствования СВН типа «Tуго» в большом диапазоне значений  $n_s \neq n_{s\text{онт}}$  должна решаться на пути создания новых конструктивных схем насосов с новыми принципами действия, которые могли бы быть заменой СВН типа «Tуго», но сохраняли соответствующие эксплуатационные качества последних».

---

**3. Постановка задачи**


---

Производственно-технологические и эксплуатационные преимущества СВН заставляют как исследователей, так и проектантов продолжать поиск путей совершенствования СВН вообще и СВН типа «Tуго» в частности. Основным недостатком последних – низкий КПД, находящийся на уровне 50–55%. На сегодняшний день можно считать доказанным [14, 15, 16], что СВН типа «Tуго» являются гидромашинami вихревого принципа действия и нет других способов повышения КПД этих насосов, кроме влияния на организацию их рабочего процесса (РП).

Установленным [5] является факт, что в области КПД, ограниченной условием  $\eta_{\max} = 50\%$ , диапазон рабочих параметров указанных насосов находится в области значений коэффициента быстроходности  $60 \leq n_s \leq 140$ . Соответственно, второй задачей, на решение которой направлены усилия исследователей, после задачи непосредственного повышения КПД, является создание СВН типа «Туго» с расширенным диапазоном параметров, а именно, для  $n_s \leq 60$  (высоконапорные СВН) и для  $n_s \geq 140$  (высокорасходные СВН). Поиск решений второй задачи велся и ведется двумя самостоятельными путями. Первый — перенос известных, используемых в динамических насосах технических решений, на решение задачи создания высоконапорных и высокорасходных СВН. Второй — дополнительное исследование рабочего процесса СВН и использование новых данных для создания высоконапорных и высокорасходных СВН.

#### 4. Изложение материала и результаты

Касательно первого пути относительно создания высокорасходных СВН необходимо обратить внимание на рекомендацию [17] применять для перекачивания ГЖС центробежные насосы (ЦН), имеющие рабочие колеса с малым числом лопастей ( $z = 1 + 4$ ). Учитывая эти сведения, на кафедре ПГМ СумГУ было проведено детальное исследование указанных выше ЦН [7, 18]. В результате установлено, что в таких ЦН, как и в СВН,  $\eta_{\max} \approx 50\%$ , но диапазон обеспечиваемых параметров находится в области  $130 \leq n_s \leq 300$ , то есть полностью перекрывается интересующий нас диапазон  $n_s \geq 140$ .

Дополнительно проводились исследования по работе рассматриваемых ЦН на ГЖС [19]. Согласно [20], рассматриваемые ЦН имеют коэффициент газосодержания  $\beta_{кр} = 0,5$ , т.е. качество их работы на ГЖС такое же, как и СВН типа «Туго» [6]. Таким образом, по качеству работы на гидросмесях СВН и ЦН, имеющие рабочее колесо с малым числом лопастей, являются равноценными, но при уровне  $\eta_{\max} \approx 50\%$  они дополняют друг друга по диапазону перекрываемых параметров. Вместе с тем рассматриваемые СВН и ЦН не полностью равноценны по производственно-технологическим показателям качества, поэтому работы по созданию высокорасходных СВН необходимо продолжить, используя второй путь — более детальное изучение рабочего процесса СВН.

ВНИИАЭН (г. Сумы) по заказу Киевского метрополитена пошел по пути, характерному для центробежных насосов, и разработал двухступенчатую конструкцию СВН типа «Туго» (рис. 2).

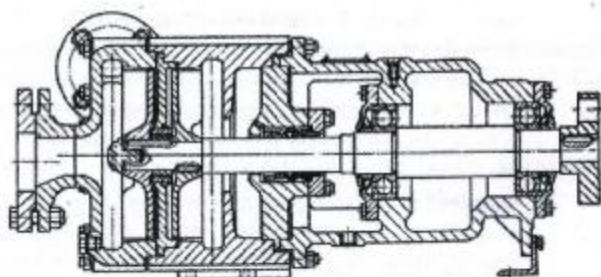


Рис. 2. Насос ФГ 20-120 — двухступенчатый свободновихревой насос разработки ВНИИАЭН

Созданный двухступенчатый СВН обеспечил требуемые параметры и был освоен в серийном производстве Бердянским заводом «Южгидромаш». Вместе с тем, использование данного решения при создании СВН с  $n_s \leq 60$  имеет свой недостаток — сложность конструкции и, соответственно, более низкую надежность при работе на гидросмесях. Поэтому мы считаем необходимым продолжить работы по созданию высоконапорных СВН.

Ниже остановимся на некоторых результатах, полученных нами на основании анализа рабочего процесса СВН типа «Туго» в направлении создания высокорасходных и высоконапорных СВН типа «Туго».

Касательно создания высокорасходных СВН были учтены следующие соображения. Учитывая опыт создания центробежных насосов, расширение диапазона параметров по подаче возможно путем изменения геометрии отводящих устройств. Большой объем таких исследований, применительно к СВН типа «Туго», был проведен во ВНИИГидромаше (Москва) [21]. Анализ результатов этих работ показал, что на данном пути существенных результатов достичь не удалось. Вместе с тем, вопрос остался не до конца исследованным и, поэтому, на кафедре ПГМ СумГУ было принято решение продолжить данные исследования. В частности, при проектировании этих отводов учесть пространственный характер течения на входе в отвод [14], как это сделано применительно к отводам центробежных насосов [22]. В результате отвод СВН типа «Туго» получился вытянутым в осевом направлении («винтообразным») (рис. 3).

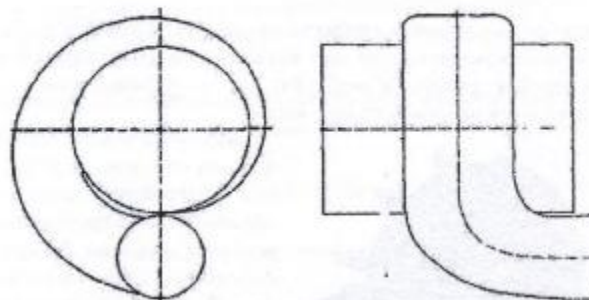


Рис. 3. Отвод модернизированного СВН типа «Туго»

Касательно создания высоконапорных СВН типа «Туго» были приняты во внимание следующие обстоятельства. Как указывалось, СВН типа «Туго» представляют собой гидромашину вихревого принципа действия, то есть в данном случае мы имеем дело с гидромашинной, работающей с использованием так называемого «вихревого рабочего процесса». Базой для выделения понятия «вихревой рабочий процесс» является работа С. С. Руднева [23]. В этой работе установлено принципиальное отличие рассматриваемого рабочего процесса от имеющих место в других типах гидромашин — согласно ему напор насоса (получаемый положительный эффект) связан с потерями энергии. Другими словами, без возникновения потерь энергии в вихревом насосе, последним напор создаваться не будет или, как сформулировано в [5], теоретически достижимый КПД вихревого рабочего процесса  $\eta_{рп}$  даже теоретически равняться единице не может. С учетом [5, 13] в работе [16] сделан вывод о максимально возможной величине  $\eta_{рп}$ , согласно которому  $\eta_{рп} = 0,58$ .

Обращаясь к физической картине осуществления вихревого рабочего процесса можно считать установленным, что частицы перекачиваемой жидкости в СВН типа «Туго» участвуют в двух вращательных движениях. Каждое из этих двух вращений сообщает энергию частицам жидкости и, соответственно, участвует в создании напора насоса. Первое вращение обусловлено работой гидродинамической вихревой решетки [24], формирующей, так называемые, турбулентные струи [25], которые и обеспечивают передачу энергии от рабочего колеса частицам жидкости в свободной камере СВН типа «Туго». Эффективность этого механизма передачи энергии оценивается оговоренным выше  $\eta_{\text{пр}}$ , предельно возможная величина которого составляет  $\eta_{\text{пр max}} = 0,58$ . Вторым вращением, обусловленным существованием продольного вихря [14], также осуществляется передача энергии перекачиваемой жидкости и, соответственно, повышается напор насоса. Согласно [25], благодаря существованию продольного вихря  $\eta_{\text{пр max}}$  повышается до  $\eta_{\text{пр max}} = 0,60 + 0,63$ . В [25] указано, что данный вывод подтвержден экспериментально в работе [15], где получен  $\eta_{\text{пр max}} = 0,62$ .

Базируясь на изложенном, можно сделать вывод, что значимость передачи энергии, обусловленная вращением жидкости вокруг оси насоса более весома, чем обусловленная существованием продольного вихря. Принимаем во внимание, что

$$\eta_{\text{пр max}} = \frac{\omega_{\text{ж}}}{\omega_{\text{рк}}},$$

где  $\omega_{\text{ж}}$  — угловая скорость вращения жидкости в свободной камере насоса под влиянием работы гидродинамической вихревой решетки;  $\omega_{\text{рк}}$  — угловая скорость вращения рабочего колеса насоса.



Рис. 4. Новое рабочее колесо

Можно сделать вывод, что для улучшения эффективности работы насоса необходимы конструктивные решения, которые бы способствовали увеличению  $\omega_{\text{ж}}$ . Одним из таких мероприятий, рассмотренных нами, было удлинение двух из десяти лопастей рабочего колеса в сторону свободной камеры (рис. 4).

Предполагалось, что с помощью удлиненных лопаток удастся заметно увеличить  $\omega_{\text{ж}}$  несмотря на то, что они ухудшат процесс формирования продольного вихря и качество его участия в осуществлении рабочего процесса. Дополнительной компенсацией указанного ухудшения нам представлялось, что наличие удлиненных лопаток приблизит модернизированный насос к насосам с центробежными полукрытыми колесами [27] или к насосам с двухлопастным центробежным колесом [7], что приводит к использованию так называемого «комбинированного рабочего процесса» [28].

Изложенные соображения проверялись непосредственно на натурном насосном агрегате [29]. Сумской завод «Насосэнергомаш» получил заказ на разработку вертикального насосного агрегата для Череповецкого металлургического комбината с подачей  $Q = 750 \text{ м}^3/\text{час}$  и напором  $H = 32 \text{ м}$ . По условиям эксплуатации требовалось свободновихревое конструктивное исполнение про-

точной части насоса. Учитывая зависимость интенсивности абразивного износа от скорости движения перекачиваемой среды, в качестве рабочей частоты вращения ротора насоса была принята величина  $n = 1485 \text{ об/мин}$  (требуемый коэффициент быстроходности  $n_s = 180$ ). При указанных параметрах с учетом оговоренной выше терминологии создаваемый СВН типа «Туго» попадал в разряд высокорасходных СВН.

В условиях недостаточной исследованности рассматриваемых технических решений завод пошел на два варианта исполнения насоса: первый — по классической [1] схеме СВН типа «Туго»; второй — с применением нового отвода (рис. 3) и нового рабочего колеса (рис. 4). Результаты испытаний оказались в определенном смысле и ожидаемыми и неожиданными: СВН с традиционной схемой исполнения требуемых параметров (напора) не обеспечил; в модернизированном насосе напор превысил заданную величину в полтора раза и при расчетной подаче КПД насоса составил  $\eta = 38\%$  при  $n_s = 184$ .

## 5. Выводы и направление дальнейших исследований

1. Учитывая полученные экспериментальные данные можно считать, что найдено принципиально новое техническое решение по свободновихревому насосу [30].
2. Требуется дополнительное экспериментальное исследование по раздельному изучению влияния на характеристики СВН модернизированного отвода и модернизированного рабочего колеса.
3. Принятые направления создания высокорасходных и высоконапорных СВН в настоящее время представляются наиболее перспективными.

## Литература

1. Ковалев И. А. Свободновихревые насосы: учебн. пособ. [для студ. высш. учебн. зав.] [Текст] / И. А. Ковалев, В. Ф. Герман — Киев: УМКВО, 1990. — 60 с.
2. Герман В. Ф. Создание и исследование сточномассных свободновихревых насосов повышенной экономичности: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.13 «Гидравлические машины и гидротурбомашинные агрегаты» [Текст] / В. Ф. Герман. — М., 1985. — 15 с.
3. Котенко А. И. Прогнозирование кавитационных характеристик сточномассных свободновихревых насосов: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.13 «Гидравлические машины и гидротурбомашинные агрегаты» [Текст] / А. И. Котенко. — Харьков, 1990. — 19 с.
4. Хоанг Ван Най. Результирующая осевая сила, действующая на ротор свободновихревого насоса: автореф. автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.13 «Гидравлические машины и гидротурбомашинные агрегаты» [Текст] / Хоанг Ван Най. — Харьков, 1987. — 20 с.
5. Соляник В. А. Рабочий процесс и энергетические качества свободновихревых насосов типа «Туго»: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.17 «Гидравлические машины и гидротурбомашинные агрегаты» [Текст] / В. А. Соляник. — Сумы, 1999. — 20 с.
6. Сапожников С. В. Учет газовой составляющей перекачиваемой среды при определении конструкции и рабочей



- характеристики динамічного насоса: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.17 «Гидравлические машины и гидронепнемоагрегаты» [Текст] / С. В. Сапожников. — Сумы, 2002. — 20 с.
7. Яхненко С. М. Гидродинамические аспекты блочно-модульного конструирования динамических насосов: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.17 «Гидравлические машины и гидронепнемоагрегаты» [Текст] / С. М. Яхненко. — Сумы, 2003. — 20 с.
  8. Євтушенко А. О. Гідродинамічні машини і передачі: навч. посіб. [Текст] / А. О. Євтушенко. — Суми: Вид-во СумДУ, 2005. — 255 с.
  9. Михайлов А. К. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления [Текст] / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. — М.: Машиностроение, 1971. — 303 с.
  10. Євтушенко А. А. О целесообразности применения гидрофибрированных установок в системе водоснабжения [Текст] / А. А. Євтушенко, И. Б. Твердохлеб // Химическое машиностроение. Расчет, конструирование, технология. — 1992. — С. 78 — 89.
  11. Євтушенко А. А. Снижение энергоэффективности трубопроводов в процессе эксплуатации [Текст] / А. А. Євтушенко, Ю. Я. Ткачук, С. Ю. Смертьяк // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение. — 2000. — № 38, Т. 1 — С. 9—14.
  12. Євтушенко А. О. Визначення оптимального складу насосної станції системи комунального водопостачання [Текст] / А. О. Євтушенко, В. Г. Неця, М. І. Сотник, С. О. Хованський // Вісник Кременчуцького ДІІ ім. Остроградського. — 2008. — № 4, Т. 1. — С. 158—162.
  13. Євтушенко А. А. О гидродинамическом подобии свободновихревых насосов типа «Тигро» [Текст] / А. А. Євтушенко // Сб. научн. трудов ДГМИ. — 2000. — № 11. — С. 110—117.
  14. Герман В. Ф. Исследование структуры потока в свободновихревом насосе [Текст] / В. Ф. Герман // Гидравлические машины и гидронепнемоагрегаты: Теория, расчет, конструирование. — 1994. — С. 67—81.
  15. Євтушенко А. А. Рабочий процесс свободновихревого насоса типа «Тигро» [Текст] / А. А. Євтушенко, В. А. Соляник // Вестник НТУУ «КПИ». — 1999. — № 34. — С. 346—355.
  16. Євтушенко А. А. Основы теории рабочего процесса вихревых машин [Текст] / А. А. Євтушенко // Технологические системы. — 2002. — № 2(13). — С. 110—113.
  17. Животовский Л. С. Лопастные насосы для абразивных жидкостей [Текст] / Л. С. Животовский, Л. А. Смойловская. — М.: Машиностроение, 1978 — 223 с.
  18. Євтушенко А. А. Области применения и основные положения методики проектирования проточной части динамических насосов с односторонним рабочим колесом [Текст] / А. А. Євтушенко, С. М. Яхненко // Вісник СумДУ. — 1998. — № 2(10). — С. 75—81.
  19. Євтушенко А. А. Влияние геометрии проточной части односторонних рабочих колес на характеристики центробежного насоса, работающего на газожидкостной смеси [Текст] / А. А. Євтушенко, Э. В. Колесниченко // Промислова гідраліка і пневматика. — 2006. — № 3(13). — С. 77—81.
  20. Колесниченко Э. В. Рабочий процесс динамических насосов нетрадиционных конструктивных схем на газожидкостных смесях: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.17 «Гидравлические машины и гидронепнемоагрегаты» [Текст] / Э. В. Колесниченко. — Сумы, 2007. — 20 с.
  21. Корбутовский А. А. Влияние геометрии отвода на рабочие параметры свободновихревого насоса [Текст] / А. А. Корбутовский // Исследование, расчет и технология изготовления гидромашин. — 1977. — С. 40—52.
  22. Машин А. Н. Расчет и проектирование спирального отвода и полуспирального подвода центробежного насоса: учебн. пособие [Текст] / А. Н. Машин. — М.: МЭИ, 1980. — 43 с.
  23. Руднев С. С. Основы рабочего процесса вихревых насосов [Текст] / С. С. Руднев // Гидромашиностроение. — 1972. — № 43. — С. 3—9.
  24. Євтушенко А. А. Гидродинамическая вихревая решетка и ее использование в насосостроении [Текст] / А. А. Євтушенко, С. В. Сапожников // Вестник НТУУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». — 2002. — № 9, Т. 12. — С. 69—82.
  25. Євтушенко А. А. Теория турбулентных струй в приложении к рабочему процессу свободновихревых насосов типа «Тигро» [Текст] / А. А. Євтушенко, В. Г. Неця, В. А. Соляник // Вестник НТУУ «КПИ». Серия «Машиностроение». — 1999. — № 36, Т. 1. — С. 241—248.
  26. Грабов Г. Исследование передачи энергии потоку жидкости в рабочей камере свободновихревых насосов с помощью измерений распределения скорости и давлений: автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. техн. наук [Текст] / Г. Грабов. — Магдебург, 1969. — 161 с.
  27. Євтушенко А. А. Физическая модель образования вихревых потерь в насосах с полуоткрытыми рабочими колесами [Текст] / А. А. Євтушенко, Н. К. Ржебаева, В. В. Шендрик // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования. — 2000. — С. 433—440.
  28. Євтушенко А. А. Выделение составляющих рабочего процесса насосов гидродинамического принципа действия и их комбинированное использование [Текст] / А. А. Євтушенко, И. П. Каплуц, А. А. Шенеленко // Вестник СумГУ. Серия «Технические науки» — 2006. — № 10(94). — С. 131—138.
  29. Євтушенко А. А. Модернизация проточной части свободновихревого насоса типа «Тигро» с целью использования комбинированного рабочего процесса [Текст] / А. А. Євтушенко, А. С. Моргал, В. А. Папченко, В. Ф. Шастун // Вісник Східноукраїнського національного університету. — 2007. — № 3(109). Ч. 1. — С. 82—85.
  30. Пат. №560039 UA, МПК-2011.01, F04D 7/00. Вільновихровий насос [Текст] / Винахідники та власники: Папченко В. О., Євтушенко А. О., Соляник В. О., Моргал О. С. — у 2010 06394, заявл. 25.05.2010, опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.