



jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ  
ЖУРНАЛ  
ПЕРЕДОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1729-3774

информационные технологии

Інформаційні технології

information  
technologies

новая экономика

нова економіка

new economy

промышленные технологии

промислові технології

industrial  
applications

6/7(48)  
2010

- Энергосберегающие технологии и оборудование

## 6/7 (48) 2010

# Содержание

### ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 4 Анализ экономической эффективности системы отопления с дополнительным источником энергии  
А.С. Мных, Н.А. Баташова, С.А. Левченко, Д.Е. Ерохин
- 7 Исследования кавитации в свободновихревом насосе методом визуального наблюдения  
А.Г. Гусак, А.И. Котенко, В.Ф. Герман
- 10 Баланс енергії теплогенеруючого агрегату та оцінка ступеня гомогенізації робочого середовища  
А.А. Палченко, С.Ф. Ковальов
- 13 О существовании комбинаторного режима работы в осевой насосной проточной части с лопастной системой типа НР  
В.А. Панченко
- 16 Актуальность и пути дальнейших исследований подводных устройств динамических насосов  
М.В. Карпузова
- 20 Цифровое моделирование процессов в тяговом вентильно-индукторном электроприводе на базе имитационной модели  
Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, Л.В. Оверьянова
- 23 Робочий процес насосної малогабаритної шнекової ступені з біпланним робочим колесом  
О.О. Шепеленко

- 27 Розробка регресійних рівнянь для прогнозування зносу згинів трубопроводів другого контуру АЕС  
В.П. Кравченко, В.С. Медвинський
- 30 Теплогідролічна модель течії води у трубопроводі системи тепlopостачання  
В.Г. Неня, Ю.В. Парфененко
- 34 Дослідження характеристик міцності пластинчастого насоса засобами COSMOSWorks  
О.В. Алексенко, К.А. Омеляненко
- 37 Анализ эффективности парокомпрессионных и абсорбционных тепловых насосов  
Н.А. Максимова
- 40 Спектральні характеристики ртутно-кварцевої лампи на підвищеній частоті  
С.С. Овчинників, В.Ф. Рой
- 43 Деякі аспекти розвитку автоматизованого електропривода  
Ю.О. Крисан
- 47 Моделирование течения в компрессорных решетках с использованием различных моделей турбулентности  
Ю.А. Быков
- 51 Моделирование устойчивости источников питания на микросхемах TOP24X к атмосферным разрядам  
Ю.К. Шинкаренко, А.Д. Менайло
- 55 Інновації енергозбереження — технічне діагностування в системах тепlopостачання  
К.Ю. Федоренко, В.Ф. Мисак
- 59 Влияние количества витков на теплопередающие характеристики пульсационных тепловых труб  
В.Ю. Кравец, Е.С. Алексеик
- 64 Дослідження стійкості нелінійної системи регулювання температури первинної пари  
Б.В. Фоменко
- 67 Обґрунтування ресурсозбережень при подрібненні інгредієнтів для лінії виробництва комбікормів в умовах господарства  
В.І. Піскун, Ю.В. Яценко
- 71 Моделирование перенапряжений на подстанции с вентиляющим разрядником  
М.В. Петровский, С.Н. Лебедка, В.С. Ноздренков, А.В. Панченко

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**А. Б. Бойчук**

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

**Т. В. Бутыко**

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

**М. Д. Голдеский**

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

**В. Н. Гриньва**

Доктор экономических наук, профессор,  
Харьковский государственный экономический университет, УКРАИНА

**В. Г. Давыко**

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

**Д. А. Демин**

Кандидат технических наук, доцент,  
Технологический Центр, УКРАИНА

**М. Д. Кап**

Доктор технических наук, профессор,  
Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, 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. Похригало**

Доктор технических наук, профессор,  
Национальный авиационный 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. Н. Самсонкин**

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

**А. Л. Становский**

Доктор технических наук, профессор,  
Одесской государственной политехнической университет, УКРАИНА

**В. В. Стариков**

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

**Р. Д. Сытник**

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

**А. Д. Тевяшев**

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. Теренин**

Доктор технических наук, профессор,  
Университет Вельскыя, ФИЛАНДИЯ,  
Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, 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**

**Л. В. Бондарчук**

**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  
Украинской Государственной Академии  
железнодорожного транспорта  
протокол № 16 от 26.10.2010

**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 10.11.2010 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

# ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИИ В СВОБОДНОВИХРЕВОМ НАСОСЕ МЕТОДОМ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

*В статті наводяться результати візуальних досліджень виникнення і розвитку кавітації в проточній частині вільновихрового насоса типу «Туро», зокрема, встановлені кавітаційні зони, визначені їх розміри*

*Ключові слова: кавітація, насос, візуальне дослідження, кавітаційні характеристики*

*В статье приводятся результаты визуальных исследований возникновения и развития кавитации в проточной части свободновихрового насоса типа «Туро», в частности, установлены кавитационные зоны, определены их размеры*

*Ключевые слова: кавитация, насос, визуальные исследования, кавитационные характеристики*

*In the article the results of visual researches of origin and development of cavitation in running part of the torque flow pump of the type «Turo» are presented, in particular, set the cavitation zone, defined by their size*

*Key words: cavitation, pump, visual research, cavitation characteristic*

**А.Г. Гусак**

Кандидат технических наук, доцент\*  
Контактный тел.: 066-426-62-30

**А.И. Котенко**

Кандидат технических наук, доцент\*  
Контактный тел.: 050-595-01-76

**В.Ф. Герман**

Кандидат технических наук, доцент\*  
Контактный тел.: 050-057-01-04

\*Кафедра прикладной гидроаэромеханики  
Сумской государственной университет  
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007  
E-mail: specialist\_pumps@ukr.net

## 1. Введение

Обеспечение надежной и долговечной работы насосов требует знания количественной оценки степени развития кавитации, а также особенностей возникновения и развития кавитационных явлений. При определении степени влияния кавитации на характеристики насосов обычно используют энергетический метод, при котором устанавливается ухудшение внешних параметров насоса вследствие развития кавитации. Однако использование энергетического метода не позволяет исследовать возникновение местных кавитационных зон на всех режимах работы насоса [1].

## 2. Постановка задачи

Для определения мест возникновения кавитации и оценки степени ее развития в работе использован метод визуального наблюдения с последующим фотографированием течения в проточной части насоса. При помощи применяемого метода регистрировались контуры кавитационных зон.

## 3. Изложение материала и результаты исследования

Испытания проводились на свободновихровом насосе (СВН) с рабочим колесом, имеющем десять плоских радиальных лопастей, установленных с углами наклона и установки  $90^\circ$ , на режиме максимального к.н.д. при постоянной подаче и частоте вращения.

На рис. 1 приведены частные кавитационные характеристики, полученные при испытании СВН.

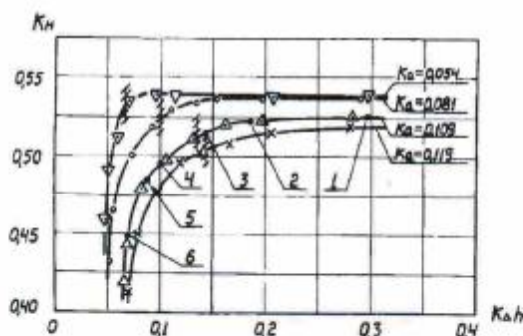


Рис. 1. Частные кавитационные характеристики СВН

При испытаниях, в ходе которых проводились визуальные наблюдения кавитации, одновременно находились и соответствующие точки на частной кавитационной характеристике [2].

Метод визуального наблюдения потока жидкости в проточной части насоса в сочетании с энергетическими испытаниями позволил установить картину течения жидкости в рабочем колесе (РК) и свободной камере (СК) при кавитации.

Наряду с визуальными наблюдениями выполнялось фотографирование кавитационных зон на различных стадиях их развития. Условия на входе в насос и соответствующие им кавитационные запасы, при которых производилось фотографирование, отмечены на рис. 1 цифрами 1...6. Соответствующие фотоснимки приведены на рис. 2. При помощи такого метода можно проследить последовательность возникновения и развития кавитации в проточной части СВН.

Первый снимок (точка 1) соответствует коэффициенту кавитационного запаса  $K_{\Delta b} = 0,29$ . При обтекании входных кромок на тыльной стороне лопасти вблизи ступицы РК уже заметны некоторые кавитационные пузырьки. Образование пузырьков можно объяснить местным падением давления, вследствие плохой обтекаемости входной кромки. Выявленные области скопления пузырьков не образуют непрерывную кавитационную зону. Пузырьки периодически отрываются от поверхности лопасти и исчезают в межлопастных каналах РК.

Второй снимок (точка 2) выполнен при  $K_{\Delta b} = 0,18$ . На этом режиме работы насоса скопления кавитационных пузырьков с тыльной стороны лопасти образовывали четко видимую каверну, которая распространялась вдоль межлопастного канала. При этом ширина каверны увеличилась незначительно. Работа насоса сопровождалась появлением еще одной кавитационной зоны. Во всасывающем патрубке непосредственно перед входом в СК насоса появлялась постоянно пульсирующая кавитационная зона, вызванная изменением направления входящего потока в результате взаимодействия (наложения) его с продольно-вихревым движением жидкости в СК. Напор на этом режиме практически не изменился.

При  $K_{\Delta b} = 0,14$  (точка 3) на входе в РК в области минимума давления установилась отчетливо видимая граница, вниз по потоку от которой с тыльной стороны лопасти РК перемещались кавитационные пузырьки. Часть из них попадала в межлопастные каналы, а вторая часть смывалась потоком в СК, где они захлопывались, создавали шум, но не подвергались разрушению проточную часть насоса. Кавитационная зона, образовавшаяся во всасывающем патрубке, перемещалась в СК. Это вызвано, по-видимому, неравномерным распределением скорости основного потока в СК.

При входе потока жидкости в СК по периметру всасывающего отверстия образовалась серповидная кавитационная каверна, от которой периодически отрывались пузырьки и направлялись к входу в РК. При работе насоса на указанном режиме появилась третья кавитационная зона в области языка отвода. При данных условиях работы насоса напор уменьшился незначительно.

Дальнейшее понижение давления на входе в насос (точка 4) при  $K_{\Delta b} = 0,1$  привело к расширению вниз по

потоку кавитационной зоны на входе в РК. Следует отметить, что с появлением устойчивой кавитационной зоны увеличивается сопротивление натекающему потоку из всасывающего патрубка. Живое сечение активного потока уменьшается, а его скорость увеличивается. К тому же парожидкостные пузырьки, оторвавшись от каверны, достигают выхода из РК. Это вызывает снижение напора насоса. При этих условиях кавитация усиливается на входе в СК и в области языка отвода.

При  $K_{\Delta b} = 0,08$  (точка 5) поток жидкости на выходе из РК содержал парожидкостные пузырьки, которые участвовали во вращательном движении в СК. Кавитационная каверна на входе в насос перемещалась в СК, интенсифицируя отрыв кавитационных пузырьков, и образовала парожидкостный жгут, соединяющий вход в насос с РК. Кавитационная зона в области языка отвода становилась еще более видимой. В процессе исследований фотоснимки получались затуманенными вследствие выделения воздуха или пара в СК насоса.

Шестой снимок получен при коэффициенте кавитационного запаса  $K_{\Delta b} = 0,07$  (точка 6). Этот режим характеризовался усилением проявления указанных кавитационных зон. Отличительным являлось появление целевой кавитации в зазоре между торцами лопаток по наружному диаметру и цилиндрической расточкой корпуса насоса.

Перед срывом рабочих параметров насоса кавитация развивается на рабочей стороне лопасти РК, что подтверждалось визуальным наблюдением за процессом ее образования и развития.

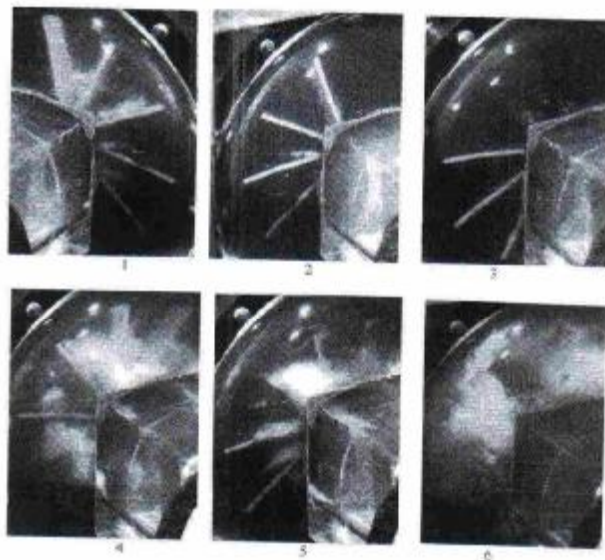


Рис. 2. Развитие кавитационных зон в проточной части СВН

По результатам визуальных наблюдений можно представить следующую картину течения жидкости при возникновении и развитии кавитации в РК (рис. 3 и 4).

Основной поток жидкости из всасывающего патрубка направляется к входу в РК. В СК происходит его взаимодействие с продольным вихрем (потоком жидкости, выходящим из РК). Закрученный продольный вихрь частично размывается основным потоком

и поступает в РК под некоторым углом. На входе в РК происходит изменение направления основного потока жидкости. Сжатие и неравномерность распределения скорости в межлопастных каналах в направлении перпендикулярном к движению жидкости приводят к понижению давления в области входа основного потока в РК. С тыльной стороны лопастей вблизи ступицы РК образуется зона с минимальным давлением. Таким образом, наиболее благоприятные условия для уменьшения давления и проявления кавитации возникают на входных кромках РК вблизи ступицы (рис. 3).

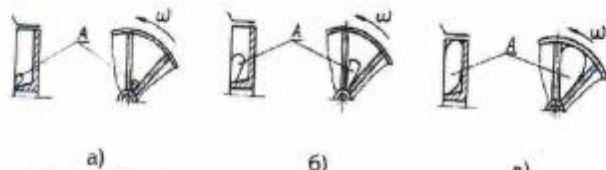


Рис. 3. Кавитация в межлопастных каналах рабочего колеса: А - зона низкого давления; а, б, в - этапы развития кавитации

После того, как давление на входе в РК достигает давления парообразования, с тыльной стороны лопасти у втулки появляется кавитационная зона. В дальнейшем область с давлением, равным давлению паров перекачиваемой жидкости, постепенно распространяется вдоль лопасти и по ширине межлопастного канала (рис. 3а и 4а). Чем сильнее развита кавитация, тем больше радиус входа потока в РК. При увеличении зоны низкого давления передача энергии потоку жидкости осуществляется участками лопастей РК, в которых давление больше, чем давление парообразования (рис. 3б, 4б и 4в). После распространения давления парообразования по всему межлопастному каналу происходит срыв параметров работы насоса (рис. 3в и 4г). Межлопастные каналы РК заполняются кавитационными пузырьками, которые распространяются в СК. Передача энергии от РК к жидкости осуществляется незначительными участками лопастей на выходе. Это приводит к значительному уменьшению напора, но резкого срыва работы насоса не наблюдается. Насос перекачивает жидкость и при сильно развитой кавитации.

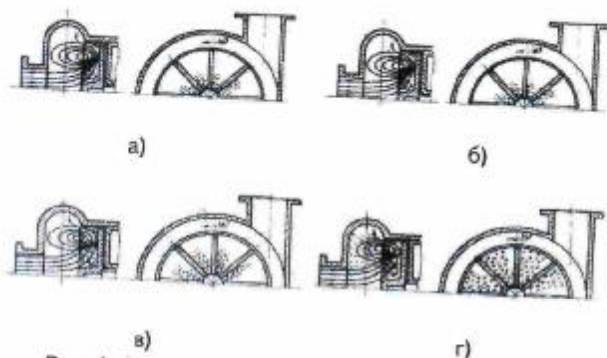


Рис. 4. Физическая картина течения жидкости при возникновении и развитии СВН в рабочем колесе СВН

Кавитационные зоны в других местах (в области соединения входного патрубка с СК насоса, в области языка отвода и шелевая кавитация на выходе РК) заметного влияния на срыв параметров, а соответственно, и на всасывающую способность насоса не оказывают. Их влияние проявляется только в виде таких вредных факторов кавитации как шум, вибрация и кавитационная эрозия элементов проточной части насоса.

#### 4. Выводы

- определены области возникновения кавитации в СВН с РК типа «Тигго»;
- местом зарождения кавитации является тыльная сторона лопасти РК вблизи втулки;
- получена взаимосвязь между картиной течения жидкости в насосе и началом возникновения и развития кавитации;
- кавитация в СВН возникает задолго до срыва его параметров;
- срыв работы насоса является следствием распространения кавитации по ширине межлопастных каналов и перемещением кавитации в свободную камеру;
- размеры кавитационных камер не одинаковы во всех межлопастных каналах, вследствие различного положения каналов по отношению к напорному патрубку насоса.
- при понижении давления на входе в насос, вследствие возникновения и развития кавитации, происходит изменение параметров насоса, но резкого срыва работы насоса не наблюдается;
- пологий характер частных кавитационных характеристик вызван изменением условий передачи энергии от РК к протекающему через него потоку жидкости. В проточной части насоса жидкость получает приращение энергии от РК вплоть до заполнения межлопастных каналов кавитационными пузырьками.

#### Литература

- 1 Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах – М: Машиностроение, 1975. – 336 с.
- 2 Котенко А.И. Оценка кавитационных качеств свободно-вихревых насосов / Герман В.Ф // Вісник СумДУ Су-ми.- 2008.- № 2 (10).- С. 81 – 84.