



Всеукраїнський

науково-технічний

журнал

ПРОМИСЛОВА
ІДРАВЛІКА І
НЕВМАТИКА

3(13)

2006

Редакційна колегія:

Головний редактор:

к.т.н., проф. Серета Л.П.,
ректор ВДАУ (м. Вінниця)

Перший заступник головного редактора:

д.т.н., проф. Зайончковський Г.Й.,
президент АС ПГП (НАУ, м. Київ)

Заступники головного редактора:

д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ)
д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ)
к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця)
к.т.н., с.н.с. Бадах В.М. (м. Київ)

Члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. Анісімов В.Ф. (м. Вінниця)
д.т.н., проф. Берник П.С. (м. Вінниця)
д.т.н., проф. Гарькавий А.Д. (м. Вінниця)
д.т.н., проф. Лисогор В.М. (м. Вінниця)
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д.
(м. Вінниця)
д.т.н., проф. Бочаров В.П. (м. Київ)
д.т.н., проф. Лур'є З.Я. (м. Харків)

Секретаріат:

Відповідальний секретар:

к.т.н., доц. Переяславський О.М.
(м. Вінниця)

Заступники відповідального секретаря:

д.т.н., проф. Луговський О.Ф. (м. Київ)
к.т.н., доц. Верба І.І. (м. Київ)

Асоційовані члени редакційної колегії від регіонів України:

д.т.н., проф. Кузнецов Ю.М. (м. Київ)
д.т.н., проф. Павленко І.І.
(м. Кіровоград)
д.т.н., проф. Сахно Ю.О. (м. Чернівці)
д.т.н., проф. Усов А.В. (м. Одеса)
д.т.н., проф. Батлук В.А. (м. Львів)
д.т.н., проф. Михайлов О.М.
(м. Донецьк)
д.т.н., проф. Нагорняк С.Г.
(м. Тернопіль)
д.т.н., проф. Мельничук П.П.
(м. Житомир)
д.т.н., проф. Ковальов В.Д.
(м. Краматорськ)
д.т.н., проф. Фінкельштейн З.Л.
(м. Алчевськ)
д.т.н., проф. Проволоцький О.Є.
(м. Дніпропетровськ)
к.т.н., проф. Євтушенко А.О. (м. Суми)
д.т.н., проф. Осенін Ю.І. (м. Луганськ)
д.т.н., проф. Склярєвський О.М.
(м. Запоріжжя)
к.т.н., доц. Панченко А.І.
(м. Мелітополь)
к.т.н. Кармугин Б.В. (м. Київ)
д.т.н. Трофімов В.А. (м. Київ)
к.т.н., доц. Жук В.М. (м. Львів)

ПРОМИСЛОВА ГІДРАВЛІКА І ПНЕВМАТИКА

№3 (13)
'2006

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Журнал засновано у березні 2003 р.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 7033, видане
Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення і радіомовлення України 7.03.2003 р.

Засновники: Вінницький державний аграрний університет,
Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики

Номер друкується згідно з рішенням Вченої ради ВДАУ (протокол № 4 від 26.01.2005 року)

Журнал рішенням президії ВАК України від 30 червня 2004 р. № 3-05/7 влючено в перелік
наукових фахових видань (біюлетень ВАК України, № 8, 2004 р.)

З М І С Т

Загальні питання промислової гідравліки і пневматики

В.Й. Лабай, О.В. Омельчук	
Ексергетичний аналіз місцевих автономних кондиціонерів.....	3
Т.В. Бойко, В.В. Ковалишин, Р.Я. Лозинський, І.М. Сембай	
Особливості транспортування парогазової суміші для дистанційного гасіння пожежі.....	6
І.О. Гузьова, О.М. Сімець	
Вивчення гідродинаміки і кінетики сушіння кавового шламу.....	8
Я.М. Ханік, Т.І. Римар, О.М. Креховецький	
Особливості процесу сушіння колоїдних матеріалів у щільному шарі.....	12
Є.П. Устянич, А.Є. Устянич, М.А. Устянич	
Теоретичні аспекти гомогенізації полікомпонентних сипучих матеріалів, оптимізація і масштабування.....	15

Прикладна гідромеханіка, гідромашини і гідропневмоагрегати

С.І. Барсуков, Л.В. Кнауб	
Теория рабочего процесса гидродинамического вихревого сепаратора.....	21
В.Н. Турик	
О гидродинамической неустойчивости течений в вихревых камерах....	32
С.И. Криль, Е.В. Семенов	
Расчет параметров гидротранспорта разнопластных полидисперсных материалов.....	38
А.П. Кононенко	
Уравнения сохранения массы и импульса вертикального восходящего воздушного потока в подъемной трубе эрлифта.....	44
Я.М. Ханік, Д.П. Кіндзера, Б.М. Микичак	
Математична модель фільтраційного сушіння при створенні перепаду тисків за рахунок розрідження.....	49
М.В. Дендюк, Б.П. Поберейко, Я.І. Соколовський	
Моделювання зв'язку тепломасоперенесення з деформативністю та міцністю деревини.....	53

**Асоційовані зарубіжні члени
редакційної колегії:**

д.т.н., проф. Попов Д.М.
(м. Москва, Росія)
д.т.н., проф. Єрмаков С.О.
(м. Москва, Росія)
д.т.н., проф. Іванов Г.М.
(м. Москва, Росія)
д.т.н., проф. Нагорний В.С.
(м. Санкт-Петербург, Росія)
д.т.н., проф. Орлов Ю.М.
(м. Перм, Росія)
д.т.н., проф. Чегодаєв Д.Є.
(м. Самара, Росія)
к.т.н., с.н.с. Малишев Є.А.
(м. Москва, Росія)
к.т.н., доц. Ащеулов О.В.
(м. Санкт-Петербург, Росія)
к.т.н., с.н.с. Колеватов Ю.В.
(м. Новосибірськ, Росія)
д.т.н., проф. Метлюк Н.Ф.
(м. Мінськ, Республіка Білорусь)
к.т.н., проф. Немировський І.А. (Ізраїль)
д.т.н., проф. Врублевський А. (Польща)

Адреса редакції:

21008, м. Вінниця
вул. Сонячна, 3,
Вінницький державний аграрний
університет
тел.: (0432) 57-42-27, 43-72-30
e-mail: journal@vsau.org



21021, м. Вінниця, 600-річчя, 15
Свідоцтво про внесення до Державного
реєстру ДК № 1077
тел. (10-38-0432) 35-76-17,
факс (10-38-0432) 53-14-32.
E-mail: contact_us@globus-press.com
www.globus-press.com

Технічний редактор О.А. Мельниченко
Комп'ютерна верстка О.В. Ступак
Коректор О.В. Петрова

Здано до набору 05.10.2006.
Підписано до друку 25.11.2006.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Гарнітура JOURNAL. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 21. Зак. № 03-29.
Наклад 100 прим.

Віддруковано з готових діапозитивів
ПП «Едельвейс»

ЗМІСТ

В.А. Батлук, В.В. Батлук Пиловлівлювач з автоматичним механічним встановленням кута повороту жалюзі.....	58
Т.И. Веретельник О.М. Яхно Кавитационные технологии в переработке многокомпонентных сред.....	63
Н.Г. Шкарабура, С.В. Стась Особенности формирования пульсирующих течений вязкой жидкости в цилиндрических насадках.....	69
Р.М. Гнатів, В.Ю. Петриниць Особливості регулювання витрати рідини в коротких трубопроводах полімерними добавками.....	74
А.А. Евтушенко, Э.В. Колисниченко Влияние пазух одно- и двухлопастных рабочих колес на характеристики центробежного насоса, работающего на газожидкостной смеси.....	77
В.Ф. Герман, А.Н. Кочевский, А.Е. Щеляев Анализ структуры течения в свободновихревом насосе.....	82

Системи приводів. Технологія і обладнання машинобудівного виробництва

Н.Ф. Метлюк, Я. Чабан, К.Н.Метлюк Моделирование и анализ динамики следящего пневмопривода с 4-мя исполнительными органами.....	89
Ю.О. Сахно, Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, В.С. Волик Компенсация зміщень шпинделя під навантаженням в гідростатичній опорі.....	92
Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, О.В. Бєвз Дослідження працездатності шестеренного насоса з регульованою подачею.....	98
Д.А. Сємин, Я.И. Мальцев, М.О. Мальцева Совершенствование динамических свойств электропневматических клапанов.....	103
И.В. Николенко, А.А. Олейниченко Опыт создания качающего узла аксиально-поршневой гидромашины серии 400.....	107

Механізація сільськогосподарського виробництва

С.И. Пастушенко, О.М. Яхно Структурный анализ и оптимизация систем гидропривода сельскохозяйственной техники.....	115
---	-----

А.А. Евтушенко, канд. техн. наук,
Э.В. Колисниченко
Сумский государственный университет

ВЛИЯНИЕ ПАЗУХ ОДНО- И ДВУХЛОПАСТНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА, РАБОТАЮЩЕГО НА ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ

Наведено результати дослідження роботи відцентрових насосів, які мають робочі колеса зі зменшеною кількістю лопатей, що працюють на газорідній суміші. Показано порівняльні характеристики впливу конструктивних особливостей проточної частини робочих колес із малим числом лопатей на робочий процес відцентрових насосів при їх роботі на газорідній суміші.

The article presents the results of research of operation of centrifugal pumps treating the gas – liquid mixtures. The impellers of these pumps have small number of blades. The article presents comparative characteristics of influence of design features of the hydraulic passages of impellers with small number of blades on the working process of centrifugal pumps treating the gas-liquids mixtures.

Введение

Перекачивание газожидкостных смесей (ГЖС) является одной из основных составляющих различных отраслей промышленности. В первую очередь это касается нефтегазового и нефтехимического комплекса народного хозяйства. Поэтому спрос на насосное оборудование, которое может быть эффективно использовано в области высоких значений газосодержания в перекачиваемой смеси и отвечающего основным требованиям эксплуатирующих его организаций, непрерывно растет. К указанным требованиям относятся простота конструкции, относительная дешевизна, способность устойчиво работать в пределах указанных значений напоров и подач, которые определяются коэффициентом быстроходности проточной части насосного оборудования. Различным конструкциям указанных насосов соответствует свой диапазон быстроходности. Следовательно, на сегодняшний день существует потребность в насосах, устойчиво работающих на ГЖС с высоким газовым фактором, в различных диапазонах их быстроходности.

Состояние вопроса

В предыдущих работах был установлен наименее исследованный в области перекачивания газонасыщенных смесей диапазон быстроходности, область параметров которого находится в пределах $130 \leq n_r \leq 300$. Частично заполнить указанный диапазон можно использованием центробежных (ЦБ) насосов, имеющих рабочие колеса (РК) с малым числом лопатей [1].

Как известно, рабочий процесс насосов гидродинамического принципа действия является недостаточно изученным относительно их работы на чистых жидкостях, тем более существует большое количество неизвестных составляющих в работе указанного насосного оборудования на гидросмесях. Это же относится и к насосам, имеющим РК с малым числом лопатей.

Как известно, ЦБ насосы с РК, имеющими уменьшенное число лопатей, нашли широкое применение при перекачивании жидкостно-твердых гидросмесей в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, начиная от транспортировки пульповых растворов горно-обогатительных предприятий и канализационных стоков жилищно-коммунальных хозяйств и заканчивая перекачиванием пищевых продуктов [2–5]. В этих условиях работы одним из основных показателей качества работы таких насосов является свойство «незабываемости» их проточной части. Хорошие показатели в плане забываемости ЦБ насосов, имеющих РК с малым числом лопатей, позволяют перекачивать жидкостно-твердые гидросмеси с достаточно крупными размерами твердых включений (напр. сахарная свекла, рыба и т.д.).

В дальнейшем были проведены исследования по изучению работы ЦБ насосов с одно- и двухлопастными РК в условиях повышенного газосодержания. Исследованиям подвергались одно- и двухлопастные РК [6–9]. Специфичность состава перекачиваемых сред требует нетрадиционного для ЦБ насосов конструктивного исполнения проточной части. Здесь речь идет о геометрии передней и задней пазух рабочего колеса. Отличительной чертой данных РК является то, что со стороны основного и покрывающего дисков выполнены импеллеры (рис. 1).

В результате данных исследований была установлена величина критического объемного газосодержания ($\beta_{кр}$) для указанных насосов, при достижении которой происходит срыв параметров насоса с полным прекращением его подачи. Так, для насосов с однолопастными РК $\beta_{кр} = 0,5–0,52$, с двухлопастными РК — $\beta_{кр} = 0,32–0,36$ в зависимости от конструктивного исполнения проточных частей указанных РК. Также были построены их рабочие характеристики. В ходе этих исследований был установлен интересный факт — при небольших долях газа в перекачиваемой ГЖС проис-

ходит небольшой рост всех параметров насоса по сравнению с чистой жидкостью. Дальнейшее увеличение доли газовой составляющей в перекачиваемой смеси ведет к уменьшению параметров насоса, вплоть до их срыва. Объяснить возникновение явления роста параметров можно тем, что при малом газосодержании достаточно большой объем внутри проточной части РК обуславливает равномерное размещение газовых пузырьков по всему объему, занимаемому жидкостью. При этом плотность смеси уменьшается, по сравнению с плотностью чистой жидкости, что ведет к увеличению параметров насоса.

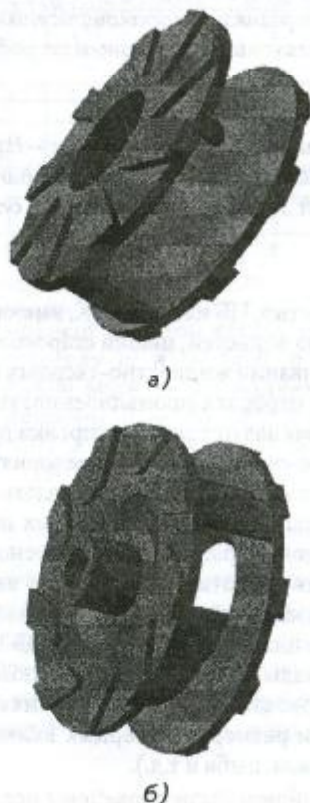


Рис. 1. Рабочие колеса исследуемого насоса
а) однолопастное; б) двухлопастное.

Исходя из того, что конструкция исследуемых одно- и двухлопастных РК является довольно необычной и отличается от традиционного исполнения, интересным представляется факт влияния геометрии проточной части ЦБ насоса, а именно — пазух РК, на характеристики перекачиваемой газонасыщенной смеси. Интерес тем велик, что задняя пазуха РК является одним из основных мест, где происходит самостоятельный процесс сепарации газа (место образования и дальнейшего роста газового пузыря), что в дальнейшем приводит к срыву параметров насоса [10–14].

Результаты исследования

Для изучения влияния пазух одно- и двухлопастных РК на характеристики ЦБ насоса, работающего на ГЖС, использовались несколько вариантов конструктивного исполнения передней и задней пазух, которые

были получены при заливке гипсом проточной части насоса:

- импеллеры выполнены как на основном, так и на покрывающем дисках РК (исходный вариант). При этом в качестве переднего уплотнения выступает торцевая щель между корпусом насоса и передними импеллерами РК. Движение смеси в переднем уплотнении происходит от центра к периферии, в отличие от традиционного исполнения, где движение происходит наоборот — от периферии к центру. В данном случае работу таких РК можно рассматривать как работу трех последовательно расположенных колес;
- аналогичное традиционному исполнению РК ЦБ — основной и покрывающий диски выполнены гладкими (исполнение без импеллеров);
- на основном диске РК выполнены импеллеры (залиты передние импеллеры);
- РК с импеллерами на покрывающем диске (залиты задние импеллеры).

Для оценки влияния газа на характеристики насоса использовались соотношения безразмерных коэффициентов напора (ψ), подачи (ϕ), мощности (μ) и КПД (η) к безразмерным коэффициентам этих параметров в точке максимального КПД, полученных при работе насоса на чистой (однофазной) жидкости.

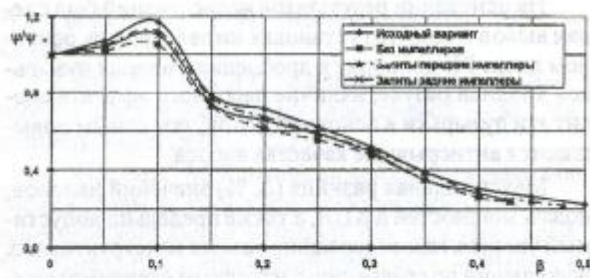
Исследованиям подвергались одно- и двухлопастное РК №1 и №2 соответственно с наилучшими экономическими показателями, безразмерные коэффициенты которых, полученные в точке максимального КПД при работе насоса на чистой жидкости, приведены в таблице 1.

Таблица 1
Оптимальные характеристики ЦБ насоса с различным конструктивным исполнением пазух РК при его работе на чистой жидкости

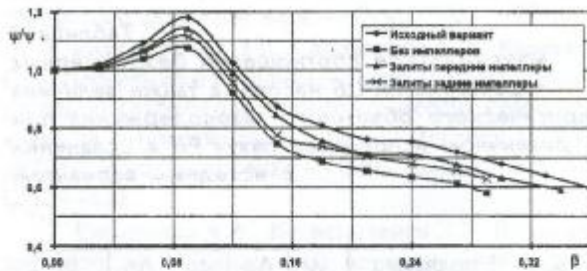
РК	Исполнение	ψ	ϕ	μ	η
№1	Исходный	0,623	0,024	0,028	0,53
№2	вариант	0,758	0,027	0,037	0,56
№1	Без	0,6	0,024	0,025	0,57
№2	импеллеров	0,716	0,027	0,033	0,59
№1	Залиты	0,612	0,024	0,027	0,55
№2	передние импеллеры	0,726	0,027	0,035	0,56
№1	Залиты	0,61	0,024	0,027	0,55
№2	задние импеллеры	0,724	0,027	0,035	0,56

Из таблицы следует, что в оптимальном режиме отсутствие импеллеров для РК №1 и №2 приводит к снижению напора на $\Delta\psi_1 \approx 4\%$, $\Delta\psi_2 \approx 5\%$ и мощности на $\Delta\mu_1 \approx 11\%$, $\Delta\mu_2 \approx 11\%$. Уровень КПД при этом возрастает соответственно на $\Delta\eta_1 \approx 8\%$, $\Delta\eta_2 \approx 5\%$.

Сравнительные характеристики исследуемых насосов с разной конструкцией пазух в зависимости от величины объемного газосодержания представлены на рис. 2–5.

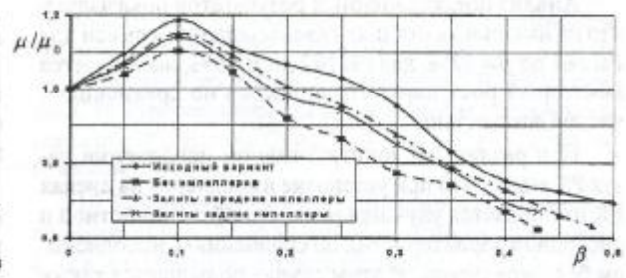


а)

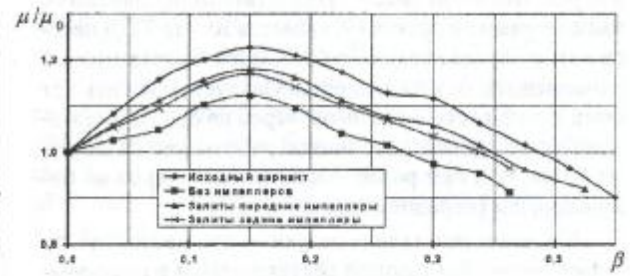


б)

Рис. 2. Сравнительная напорная характеристика исследуемого насоса
а) РК № 1; б) РК № 2.



а)

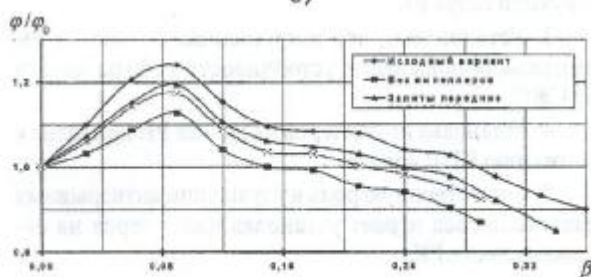


б)

Рис. 4. Сравнительная мощностная характеристика исследуемого насоса.
а) РК №1; б) РК №2.

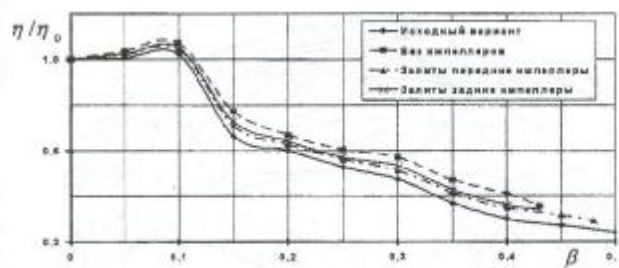


а)

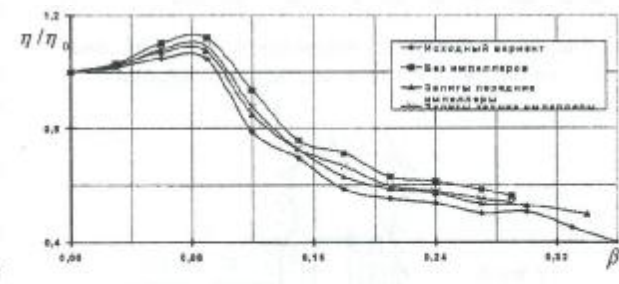


б)

Рис. 3. Сравнительная характеристика подачи исследуемого насоса
а) РК №1; б) РК №2.



а)



б)

Рис. 5. Сравнительная характеристика КПД исследуемого насоса.
а) РК №1; б) РК №2.

Анализ представленных результатов показывает, что на начальных стадиях газонасыщения в смеси для РК №1 до $\beta \approx 12\%$, для РК №2 до $\beta \approx 9\%$, наблюдается некоторый рост параметров насоса по сравнению с чистой жидкостью.

При различном конструктивном исполнении пазух РК видно, что при установке импеллеров на дисках РК наблюдается улучшение напорной, мощностной и расходной характеристик по сравнению с исполнением без импеллеров. В этом случае повышается также качество работы насоса (т.е. способность устойчиво работать при более высоких уровнях газосодержания в перекачиваемой смеси). Недостатком исполнения с импеллерами на дисках РК является то, что КПД насоса в этом случае несколько снижается по сравнению с исполнением без импеллеров. Следует отметить тот факт, что при установке импеллеров на основном (заднем) диске степень устойчивой работы насоса заметно выше, чем при расположении импеллеров на покрывающем (переднем) диске.

Как известно, задняя пазуха — это место, где, по мере увеличения газовой составляющей в перекачиваемой ГЖС, происходит скапливание газовых пузырьков. В последствии они сливаются в один большой пузырь, который, увеличиваясь в размере, соединяется с другим таким же пузырем, образованным в межлопастном пространстве РК. При этом образовавшийся газовый пузырь перекрывает выходное сечение РК, в результате чего наступает срыв параметров (рис 6, 7).

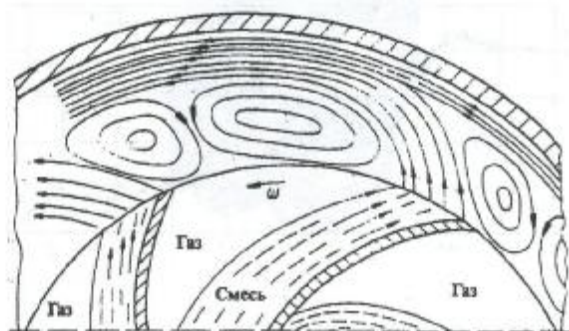


Рис. 6 Структура газожидкостного потока на выходе РК и в отводе ЦБ насоса.

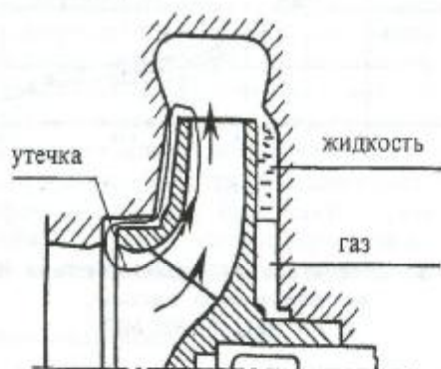


Рис. 7 Картина образования газового кольца в задней пазухе РК ЦБ насоса.

На основании результатов исследований был сделан вывод о том, что установка импеллеров на основном диске РК приводит к дроблению газовых пузырьков в задней пазухе, наличие насосного эффекта сносит эти пузырьки в основной поток, тем самым повышаются антисрывные качества насоса.

Максимальная разница (Δ , %) значений напоров, подач, мощностей и КПД, а также предельно допустимый уровень газосодержания разных конструктивных исполнений по сравнению с исходным вариантом приведены в таблице 2. Знак «-» означает, что указанная величина меньше сравниваемой.

Таблица 2
Максимальное соотношение безразмерных характеристик ЦБ насоса, а также величина критического объемного газосодержания при различном исполнении пазух РК в сравнении с исходным вариантом

РК	Исполнение	$\Delta\psi$	$\Delta\phi$	$\Delta\mu$	$\Delta\eta$	β
№1	Исходный	0	0	0	0	0,5
№2	вариант	0	0	0	0	0,36
№1	Без	-9	-4	-7	4	0,43
№2	импеллеров	-9	-9	-8	7	0,29
№1	Залиты	-3	-2	-3	3	0,48
№2	передние импеллеры	-3	-4	-4	2	0,34
№1	Залиты	-4	-5	-5	1,5	0,44
№2	задние импеллеры	-6	-5	-5	4	0,31

Выводы

1. Получены энергетические характеристики работы на ГЖС ЦБ насоса с одно- и двухлопастными РК, имеющими разные конструктивные особенности пазух.
2. На начальных стадиях газонасыщения наблюдается рост всех параметров насоса, независимо от конструкций пазух РК.
3. Установлено, что выполненные на дисках РК импеллеры повышают устойчивость работы насоса на ГЖС.
4. Установка импеллеров на дисках РК приводит к снижению КПД насоса.
5. Существенную роль в улучшении антисрывных качеств насоса играет установка импеллеров на основном диске РК.

Литература

1. Евтушенко А.А., Колисниченко Э.В. Исследование применения насосного оборудования различных конструктивных схем для перекачивания жидкостей с высоким газовым фактором // Вестник СумГУ, №13 (59), 2003. — С. 199—203.
2. Бадече К., Градевальд А., Келльнер Г. и др. Насосы. Справочное пособие. Перевод с нем. Малошенко

В.В., Бобка М.К. — М.: Машиностроение, 1979. — С. 128—136.

3. Животовский Л.С., Смойловская Л.А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. — М.: Машиностроение, 1978. — 223 с.

4. Яхненко С.М. Влияние вида и свойств перекачиваемой среды на выбор конструкции рабочего колеса динамического насоса // Праці II Укр. наук.-техн. конф. «Гідромеханіка в інженерній практиці». — Черкаси: ЧПІ, 1998. — С. 55—62.

5. Яхненко С.М. Гідродинамічні аспекти блочно-модульного конструювання динамічних насосів: Автореф. дисс. канд. техн. наук. — Сумы: 2003 — 20 с.

6. Колисниченко Э.В., Сапожников С.В., Яхненко С.М. Программа и методика экспериментального исследования работы однолопастных насосных рабочих колес на газожидкостной смеси // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение — 2002, вып. 42, т. 2. — С. 126—130.

7. Евтушенко А.А., Колисниченко Э.В. Влияние двухфазного газожидкостного потока на характеристику центробежного насоса с малым числом лопастей // Сб. научн. трудов — Харьков: Ин-т проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 2003. — Т. 2. — С. 539—542.

8. Евтушенко А.А., Колисниченко Э.В. Влияние геометрии проточной части однолопастных рабочих колес на характеристики центробежного насоса, ра-

ботающего на газожидкостной смеси // Промислова гідрравліка і пневматика. — №4 (6). — 2004. — С. 44—46.

9. Евтушенко А.А., Колисниченко Э.В., Сапожников С.В. Турбомашинны для перекачивания газожидкостных смесей // Вісник СумДУ. — №13(72). — 2004. — С. 45—49.

10. Режим течения жидкости и газа в ротационных системах / ГПНТБ. № 81/46903. — Пер. ст. Kosmowski I. из журн.: Pumpen und Verdichter, № 1, — P. 34—38.

11. Конструкции центробежных насосов для подачи жидкостей с высоким газосодержанием / ВЦП. — № М-16078. — Пер. ст. Kosmowski I. из журн.: British Pump Manufacturers' Association. Technical Conference. — Cambrids. — 1983/ — № 8. — P. 159-169.

12. Анализ условий работы центробежного насоса, перекачивающего жидкости, содержащие газ / БелНИИТИ. № 542/3. — Пер. ст. Kosmowski I., Steinhheimer K. — из материалов конф.: Conference on Fluid Machinery (7, 1983, Budapest) Proceeding., Vol. 1, — P. 458—466.

13. Kosmowski I. Behaviour of centrifugal pumps when conveying gas entrained liquids. 7-th Technical Conference of the British Pump Manufacturers' Association 31 st March-Developing Needs, — P. 283—291.

14. Сапожников С.В. Учет газовой составляющей среды при определении конструкции и рабочей характеристики динамического насоса: Дисс. канд. техн. наук: 05.05.17. — Сумы, 2002. — 206 с.