



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 ППП (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.Б.  
(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 KB № 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 (білетень 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.И. 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. Семеновко

**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  
перепадку 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. Неміровський 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@vnsau.org



21021, м. Вінниця, 600-річчя, 15  
Свідцтво 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 діалозитивів  
ПП «Едельвейс»

# З М І С Т

В.А. Батлук, В.В. Батлук Пиловаловлювач з автоматичним механічним встановленням кута повороту жалози.....	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. Петринєць Особенности регулирования 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 свободновихровом 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
---	-----

УДК 621.22

В.Ф. Герман, канд. техн. наук,  
А.Н. Кочевский, канд. техн. наук  
Сумский государственный университет,  
А.Е. Щеляев  
ООО "ТЕСИС", г. Москва

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ В СВОБОДНОВИХРЕВОМ НАСОСЕ

*Наведено результати дослідження структури течії в проточній частині вільновихрового насосу типу "Turo". Експериментальне дослідження полягало в зондуванні течії в трьох різних перерізах вільної камери насоса на різних подачах. Розрахункове дослідження було виконано за допомогою пакету CFX-5.7. Отримано добре узгодження розрахункових та експериментальних результатів.*

*The paper is devoted to investigation of flow structure inside a free-flow pump of "Turo" type. Experimental research consisted in probing of flow at three different cross-sections of the vortex chamber of the pump, at different capacities. Numerical research was performed using the commercial package CFX-5.7. A generally good concordance of numerical and experimental results was obtained.*

### Введение

Свободновихревые насосы (СВН) широко применяются при необходимости перекачивания жидкостей с большим содержанием твердых и волокнистых включений и газовых пузырьков, в частности, для перекачивания бытовых и промышленных стоков. В этих случаях СВН обеспечивают значительно большую надежность и долговечность работы по сравнению с центробежными насосами традиционных конструкций, хотя и уступают им по КПД. Кроме того, СВН намного проще в изготовлении, так как лопатки их рабочих колес (РК) представляют собой плоские пластины, а отводы, как правило, являются кольцевыми.

Получили распространение СВН нескольких основных типов [1, 2]. В насосах типа «Wemco» РК в наименьшей мере взаимодействует с потоком жидкости. Как следствие, насосы этого типа обеспечивают наиболее высокую надежность при перекачивании жидкостей с крупными твердыми частицами, но имеют низкий КПД. Наиболее высокий КПД достигается в насосах типа «Seka» благодаря выдвиганию колеса в свободную камеру, но такие насосы менее устойчивы к забиванию при перекачивании жидкостей с волокнистыми включениями. Объектом данного исследования являются насосы типа «Turo» [3] (рис. 1), в которых объединены достоинства насосов других типов.

Исследованию рабочего процесса этих насосов посвящен ряд работ [1–19], по результатам которых были предложены методики выбора размеров проточной части насоса, которые обеспечили бы требуемые параметры его работы. В работах [20–22] проанализирован механизм срыва параметров насоса вследствие большого содержания газа и твердых частиц, а также кавитации, и получено, при каких предельных концентрациях примесей и давления на входе насос еще может продолжать работу.

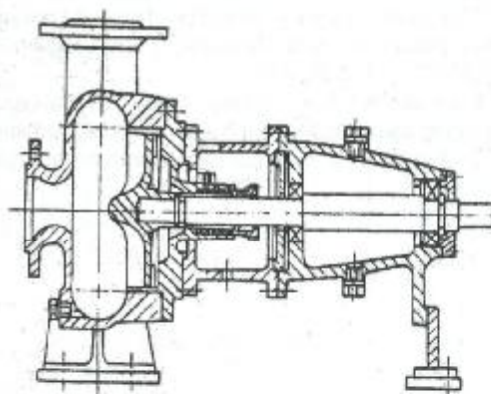


Рис. 1. Свободно-вихревой насос типа «Turo».

Целью данной работы является исследование структуры течения в проточной части насоса.

### Описание экспериментального исследования

Схема проточной части исследованного насоса показана на рис. 2. РК было рассчитано на расход  $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор  $H = 20 \text{ м}$ , его размеры выбраны согласно [13]. Размеры свободной камеры выбраны согласно рекомендациям [12] и составили:  $B = D_{\text{вых}} = 65 \text{ мм}$ ;  $D_0 = 80 \text{ мм}$ . Схема точек зондирования показана на рис. 3. Выбранная плоскость зондирования перпендикулярна оси РК и расположена на противоположной стороне патрубка с целью исключения его влияния. Зондирование проводилось 5-ти точечным шаровым зондом  $\varnothing 5 \text{ мм}$  в 3 сечениях по всей ширине свободной камеры. Методика зондирования и расчета результатов не отличалась от общепринятой [23].

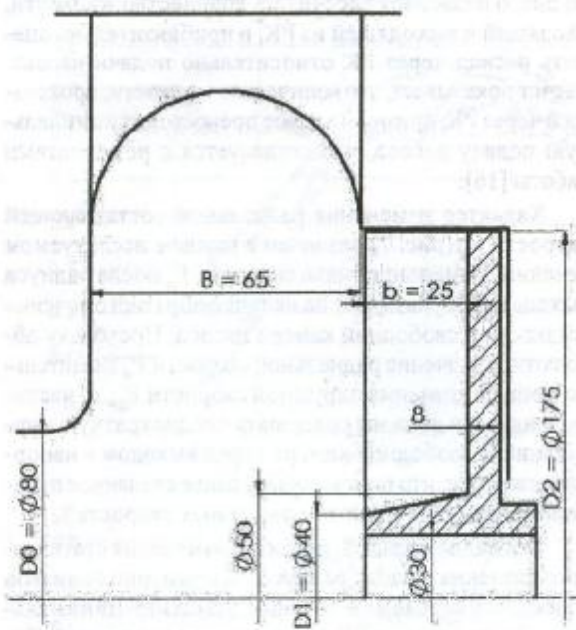


Рис. 2. Экспериментальный СВН.

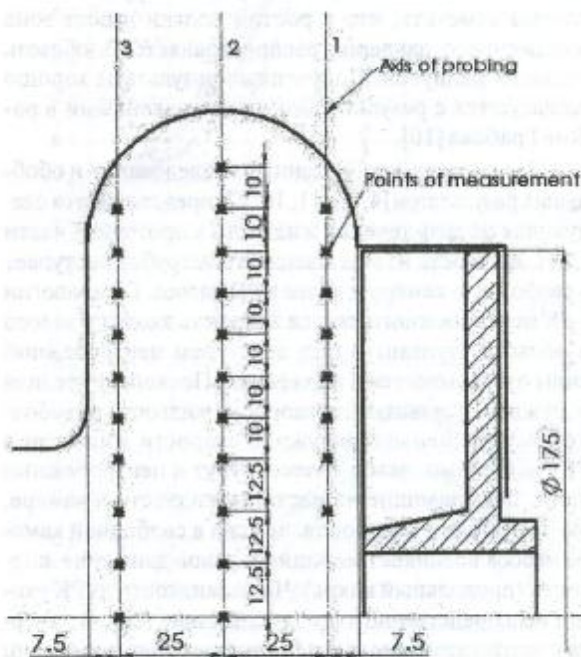


Рис. 3. Схема зондирования потока в свободной камере насоса.

**Описание расчетного исследования**

Расчетное исследование было выполнено с помощью пакета CFX-5.7 [24, 25]. Расчетная область с расчетной сеткой показана на рис. 4. Она состояла из 2 подобластей: свободной камеры и рабочего колеса. Построение расчетной сетки выполнялось с помощью модуля CFX-Mesh в среде ANSYS WorkBench. Расчетная сетка в свободной камере насчитывала 360 тыс.

ячеек, в РК — 340 тыс. ячеек. Для проверки сеточной независимости решения расчет для одного из режимов был выполнен на более густой (920 + 860 тыс. ячеек) и более разреженной (150 + 140 тыс. ячеек) сетке. Поскольку результаты расчета при использовании более густой сетки отличались менее чем на 1%, последующие расчеты были выполнены на сетке, содержащей 360 + 340 тыс. ячеек. Для надлежащего описания пограничного слоя у твердых стенок было создано 8 слоев призматических ячеек. По результатам расчета параметр  $u^+$  у стенок находился в пределах  $20 < u^+ < 100$ , что соответствует рекомендациям руководства пользователя [25].

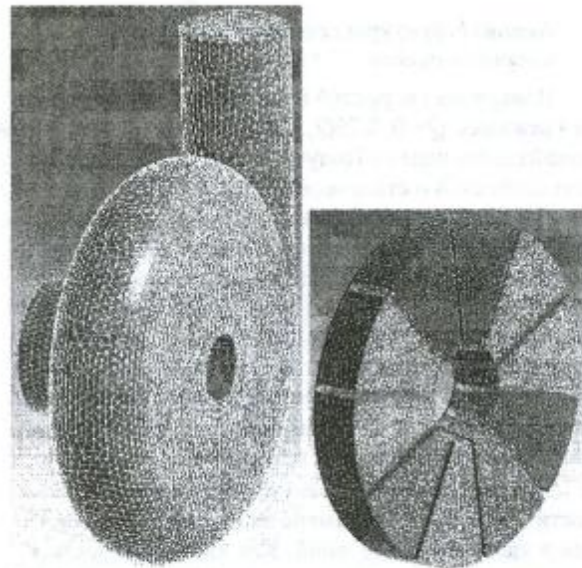


Рис. 4. Расчетная сетка в свободной камере и РК.

На входе в свободную камеру задавался расход, на выходе — статическое давление. Изменение положения границ входа и выхода не оказывало заметного влияния на результат расчета.

Для моделирования турбулентности были использованы стандартная  $k-\epsilon$  модель турбулентности с масштабируемыми пристеночными функциями, SST модель Ментера и полная модель напряжений Рейнольдса BSL [25]. Как известно, последние две модели обеспечивают повышенную точность при моделировании отрывных и закрученных течений, причем BSL модель является более ресурсоемкой. В данном случае, однако, результаты расчета с использованием этих моделей различались незначительно, поэтому все последующие расчеты были проведены с использованием  $k-\epsilon$  модели.

Расчет течения выполнялся в стационарной постановке. Изменение положения поверхности стыка между РК и свободной камерой не оказывало заметного влияния на результат расчета. На этой поверхности стыка задавалось условие «Frozen Rotor» («замороженный ротор»).

При использовании шага по времени, равного 0.005 с, для достижения среднеквадратичной невязки

1E-4, в зависимости от геометрической конфигурации и режима, требовалось выполнить 50 — 150 итераций, что требовало 1 — 3 часа времени расчета на компьютере с процессором Pentium IV 2.8 ГГц и оперативной памятью 1 Гб. На малых подачах сходимости была затруднена. На нулевой подаче среднеквадратичная невязка, которую удавалось достичь, составляла лишь 5E-4, вследствие чего точность результатов расчета на этой подаче невысока.

Внутренние поверхности свободной камеры и РК не подвергались механической обработке. Высота буртиков шероховатости на всех твердых стенках проточной части была принята равной 50 мкм.

#### Анализ структуры течения в свободном вихревом насосе

Измерения скоростей и давлений производились на 4 режимах:  $Q = 0; 0.75Q_p, 1.00Q_p, 1.25Q_p$ , где  $Q_p$  — номинальная подача. Полученные эпюры составляющих скоростей и статического давления показаны на рис. 5–8. Скорости отнесены к окружной скорости вращения РК  $U_2$  на его наружном радиусе  $R_2$ . Как можно видеть, представленные эпюры похожи на эпюры, которые ранее были получены для насосов этого типа в работах [10, 15]. Пунктирными линиями показаны эпюры, полученные в результате расчета течения с помощью пакета CFX-5.7. Можно сделать вывод о хорошем качественном и количественном согласовании расчетных и экспериментальных результатов.

Характер изменения окружной составляющей скорости  $V_{\theta}$  в свободной камере насоса (рис. 5) аналогичен в каждом из 3 сечений. Как видно, скорость  $V_{\theta}$  мало меняется по ширине камеры. Однако окружная скорость вращения жидкости в свободной камере на некоторых участках (от 0.35 до 0.65  $r/R_2$ ) превышает окружную скорость вращения РК. Это явление наблюдал и дал ему объяснение Л.С.Пресман [4]. Связано это с тем, что частицы жидкости при вращении внутри колеса имеют окружную скорость, близкую к окружной скорости РК  $U = \omega r$ , где  $\omega$  — угловая скорость;  $r$  — радиус. Перемещаясь в свободной камере от выхода к входу колеса, частицы стремятся двигаться по закону  $V_{\theta} r = \text{const}$ , т.е. ускоряются при переходе на меньший радиус. Однако, вследствие потерь на трение происходит непрерывное убывание энергии движущихся частиц. Это приводит к тому, что скорость частиц в свободной камере на участке выхода из РК становится меньше  $U$ , а на входном еще остается большей  $U$ . Таким образом, жидкость на выходном участке РК в свободной камере тормозится, на входном — ускоряется.

Заметим, что окружная составляющая скорости  $V_{\theta}$  значительно превышает скорость, рассчитанную как  $Q/F$ , где  $Q$  — подача насоса,  $F$  — площадь сечения свободной камеры. Расчеты показывают, что суммарный расход жидкости через свободную камеру примерно в 4–5 раз превышает номинальную подачу насоса. Это подтверждает ранее сделанные выводы [3, 10] о том, что жидкость многократно вращается в корпусе, прежде чем попадает в напорный патрубок.

Распределение осевой составляющей скорости  $V_z$  на рис. 6 позволяет рассчитать количество жидкости, входящей и выходящей из РК, и приблизительно оценить расход через РК относительно подачи насоса. Расчет показывает, что количество жидкости, проходящей через РК, примерно вдвое превосходит номинальную подачу насоса, что согласуется с результатами работы [16].

Характер изменения радиальной составляющей скорости  $V_r$  (рис. 7) различен в каждом исследуемом сечении. Изменение знака скорости  $V_r$  после радиуса выхода из РК указывает на наличие обратного течения жидкости в свободной камере насоса. Поскольку абсолютное значение радиальной скорости  $V_r$  значительно меньше значения окружной скорости  $V_{\theta}$ , то частицы жидкости должны совершать неоднократную циркуляцию в свободной камере перед выходом в напорный патрубок, что подтверждает ранее сделанное предположение по результатам окружных скоростей.

Как видно из рис. 8, характер изменения статического давления  $p$  вдоль радиуса РК примерно одинаков в каждом измеряемом сечении. Давление минимально в области входа в РК и возрастает к его выходу. Повышение давления происходит примерно по закону параболы. Отклонение можно объяснить влиянием расходного течения через напорный патрубок. Необходимо отметить, что с ростом подачи насоса зона пониженного давления распространяется в область больших радиусов. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, представленными в работе Грабова [10].

На основании проведенных исследований и обобщения результатов [4, 10, 11, 16, 17] представляется следующая модель течения жидкости в проточной части СВН. Жидкость из всасывающего патрубка поступает в свободную камеру и далее в РК насоса. По аналогии с РК центробежного насоса жидкость входит в колесо в области ступицы и под действием центробежной силы отбрасывается к периферии. Поскольку средняя окружная составляющая скорости жидкости в свободной камере меньше окружной скорости жидкости в РК, меньшими, чем в колесе, будут и центробежные силы, действующие на частицы жидкости в камере. Из-за разности центробежных сил в свободной камере насоса возникает меридиональное движение жидкости (продольный вихрь). Часть жидкости из РК уходит непосредственно в отвод вследствие того, что энергия частиц этой жидкости превышает энергию частиц жидкости в отводе. Другая часть, теряя энергию, возвращается к входу в РК. На существующее интенсивное меридиональное течение накладывается окружное течение, поэтому в свободной камере наблюдается сложное торондальное движение частиц жидкости.

Кроме того, как показано в работе [19], энергия потока жидкости в РК передается потоку жидкости в свободной камере благодаря турбулентным пульсациям, поскольку интенсивность турбулентности потока в РК является более высокой.

Перечисленные явления хорошо отслеживаются расчетом в CFX-5.7.

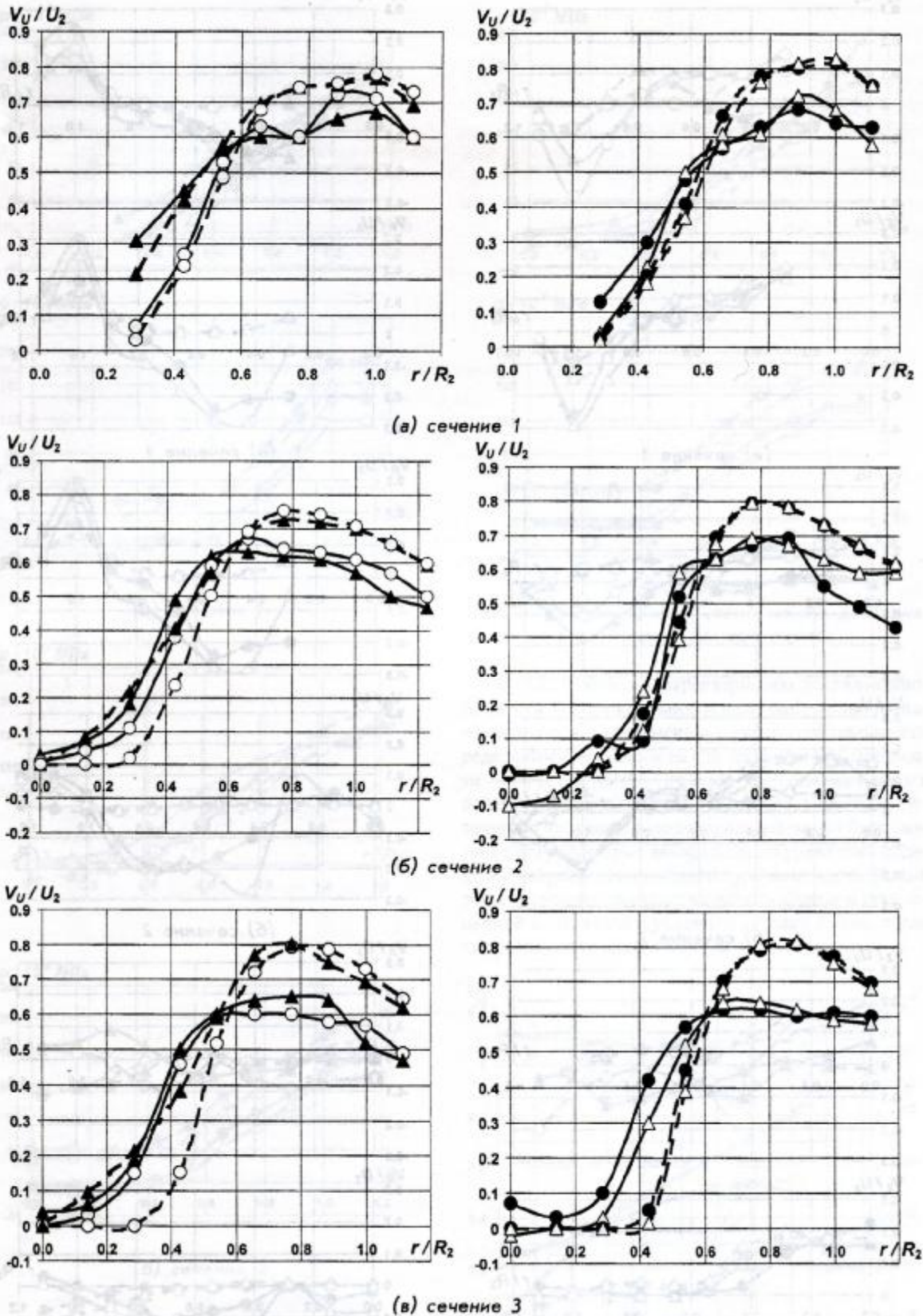


Рис. 5. Распределение окружной составляющей скорости в свободной камере насоса: здесь и далее — (а) сечение 1; (б) сечение 2; (в) сечение 3;

$\Delta$  —  $Q = 0.042$ ;  $\bullet$  —  $Q = 0.034$ ;  $\circ$  —  $Q = 0.025$ ;  $\blacktriangle$  —  $Q = 0$ ;  
сплошные линии — эксперимент, пунктирные — расчет, CFX-5.7

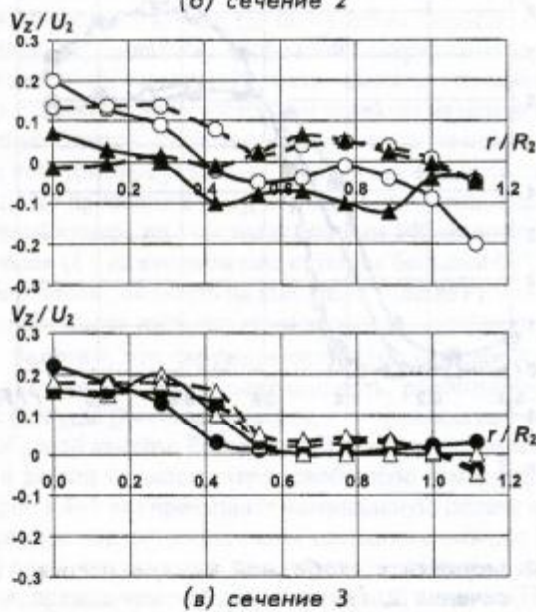
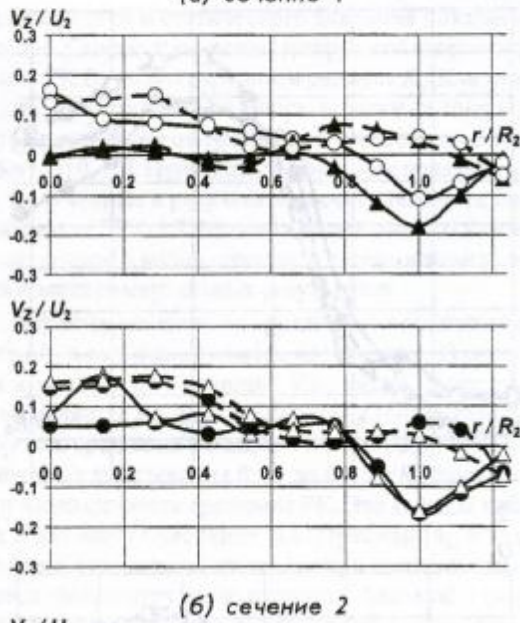
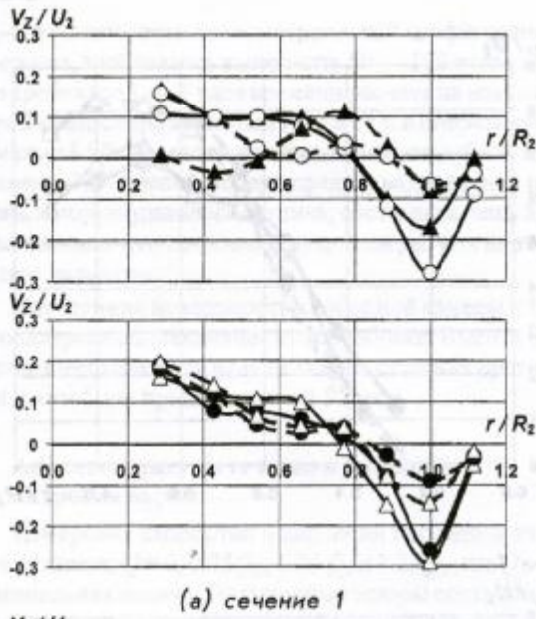


Рис. 6. Распределение осевой составляющей скорости в свободной камере насоса.

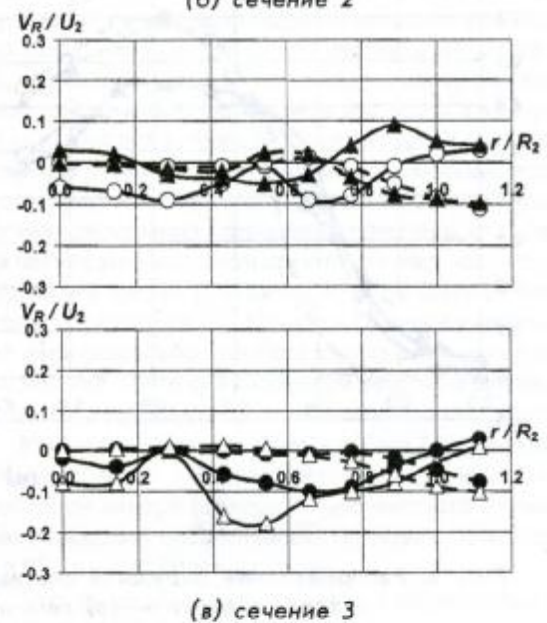
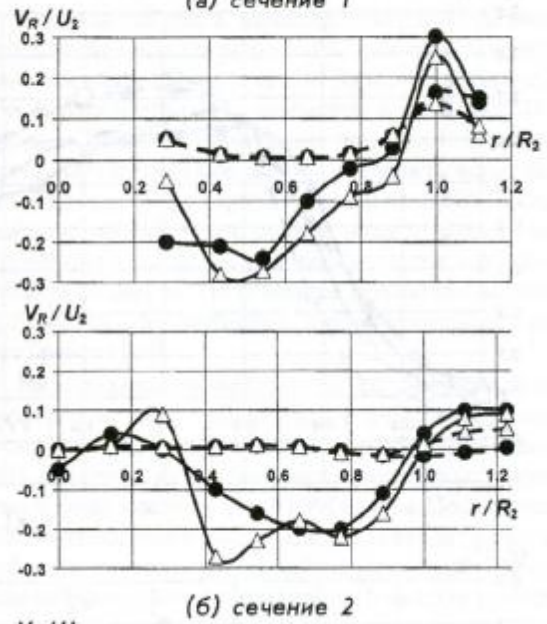
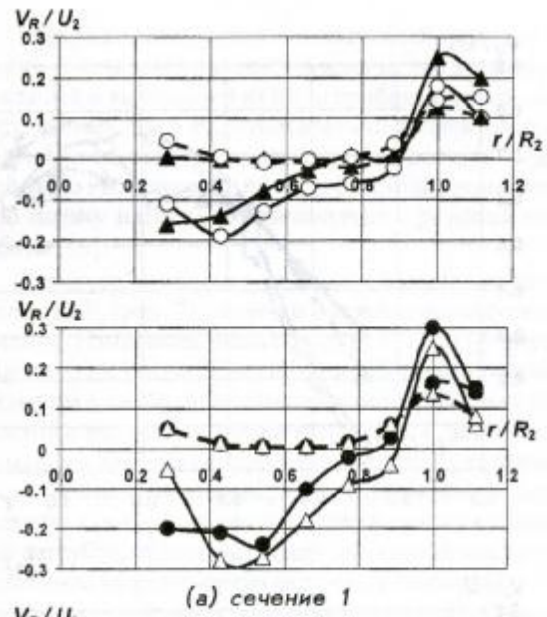
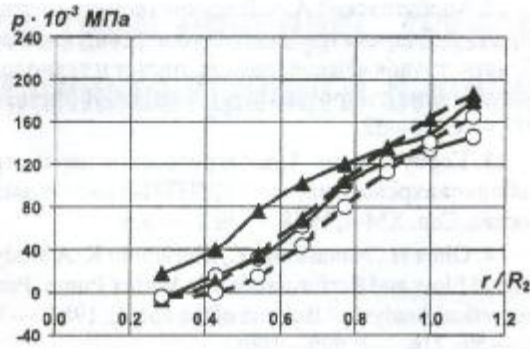
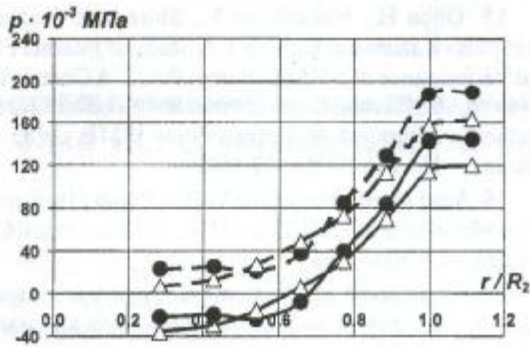


Рис. 7. Распределение радиальной составляющей скорости в свободной камере насоса.

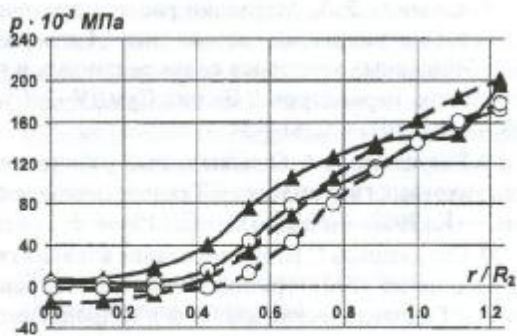




(а) сечение 1



(б) сечение 2



(в) сечение 3

Рис. 8. Распределение статического давления в свободной камере насоса

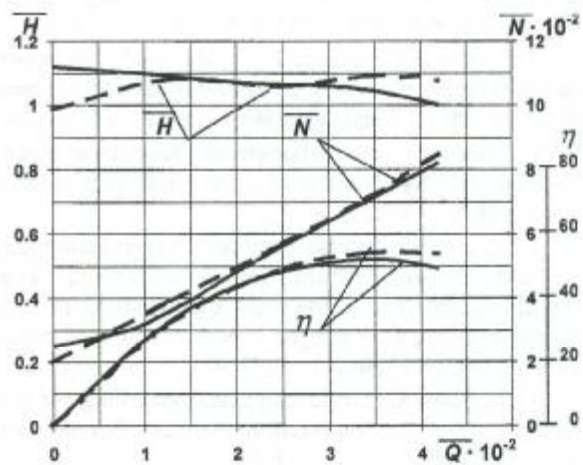
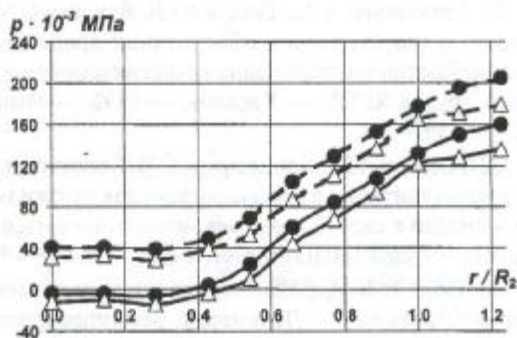


Рис. 9. Характеристики исследованного насоса: сплошные линии — эксперимент, пунктирные — расчет.

На рис. 9 показаны характеристики исследованного насоса. На номинальной подаче рассчитанное значение напора по сравнению с экспериментально определенным оказалось на 4% завышенным, мощности — на 1.5%, КПД — на 2.5%. На больших и малых подачах расхождение в результатах более заметное. Неточность численного моделирования может быть связана с погрешностью дискретизации уравнений модели и с погрешностью модели турбулентности. Кроме того, погрешность связана с использованием стационарной постановки с условием «Frozen Rotor», тогда как реальное течение является нестационарным.

### Выводы

1. В данной работе получена подробная информация о картине течения жидкости в проточной части СВН типа «Туро» на различных по подаче режимах. Показано, в частности, что характер распределения скоростей в свободной камере мало изменяется при изменении подачи насоса, а окружная скорость вращения жидкости в свободной камере на некоторых участках превышает окружную скорость вращения рабочего колеса.

2. Получено хорошее согласование результатов расчета течения жидкости в исследуемом насосе с помощью пакета CFX-5.7 с экспериментальными результатами, как по картине течения на различных подачах, так и по интегральным характеристикам.

### Литература

1. Rüttschi K. Die Arbeitsweise von Freistrompumpen // Bauzeitung, Schweiz. — 1968. — Vol. 86. — No. 32 — P. 575—582.
2. Wegener G. Einsatz von Turo-Pumpen in der Industrie // Allgemeine Papier, Rundschau. — 1968. — No. 40. — P. 1208—1210.
3. Egger E. Einsatz von Turo-Pumpen in der Industrie mit spezieller Berücksichtigung des Einsatzes für stark schleißende Fördergüter // Pumpen und Verdichter-Informationen: 1967. — No. 2. — P. 11.
4. Пресман Л.С. Смерчевые (свободно-вихревые) насосы // Труды ВНИИГидромаш, 1967. — № 36. — С. 46—65.
5. Stepniewski M. Pompy odśrodkowe o przepływie swobodnym // Przegląd mechaniczny, 1969. — Vol. 28, No. 16. — P. 493—497.
6. Rokita J. Wpływ geometrycznych cech konstrukcyjnych na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie // Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej, 1975. — No. 420. — P. 43—65.
7. Zarzycki M., Rokita J., Morzynski S. Badania pompy kretnej o swobodnym przepływie produkowanej seryjnie // Zesz. nauk. PSJ, 1974. — No. 425. — P. 103—119.
8. Grabow G. Pumpen zur Förderung von Flüssigkeiten nach dem Peripheral — Wemco und Turo-Prinzip // Pumpen und Verdichter-Informationen, 1965. — No. 2. — P. 19—26.
9. Grabow G. Untersuchungen an Freistrompumpen // Internationale Symposium «Pumpen und Verdichter», Leipzig: 1970. — P. 15—19.
10. Grabow G. Untersuchung der Energieübertragung an das Fördermedium im Arbeitsraum von Freistrompumpen mit Hilfe von Geschwindigkeits- und Druckverteilungsmessungen // Maschinenbautechnik, 1970. — Vol. 19. — No. 2. — P. 77—82.
11. Grabow G. Einfluss der Beschauelung auf das Kennlinienverhalten von Freistrompumpen // Pumpen und Verdichter, 1972. — No. 2. — P. 18—21.

12. Корбутовский А.А. Влияние геометрии отвода на рабочие параметры свободновихревого насоса // Сб. науч. трудов «Исследование, расчет и технология изготовления гидромашин». — ВНИИГидромаш, 1977. — С. 40—52.

13. Корбутовский А.А. Определение параметров свободновихревого насоса // ЦИНТИ-Химнефтемаш, Москва, Сер. ХМ-4, 1978. — № 2. — 8 с.

14. Ohba H., Nakashima Y., Shiramoto K. A Study of Internal Flow and Performance of a Vortex Pump. Part 1. Theoretical Analysis // Bulletin of the JSME, 1983. — Vol. 26. — No. 216. — P. 999—1006.

15. Ohba H., Nakashima Y., Shiramoto Kazuaki, Shiramoto Kazumasa, Kojima T. A Study of Internal Flow and Performance of a Vortex Pump. Part 2. A Comparison between Analysis and Experimental Results, and a Design Method of Pump // Bulletin of the JSME, 1983. — Vol. 26. — No. 216. — P. 1007—1013.

16. Aoki M. Studies of the Vortex Pump (1st Report, Flow Model) // Bulletin of the JSME, 1983. — Vol. 26. — No. 213. — P. 394—398.

17. Герман В.Ф. Исследование структуры потока в свободно-вихревом насосе // Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты: теория, расчет, конструирование: темат. сб. научн. трудов. — К.: ИСИО. — 1994. — С. 67—81.

18. Соляник В.А. Методики расчета проточной части свободновихревых насосов типа «Туро» на основе обобщенных критериев связи режимных и геометрических параметров // Вісник СумДУ — Суми, 1998. — № 2 (10). — С. 81—84.

19. Евтушенко А.А. Основы теории рабочего процесса вихревых гидромашин // Технологические системы. — К., 2002. — № 2 (13). — С. 110—113.

20. Сапожников С.В. Исследование влияния газосодержания на характеристики свободновихревого насоса // Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты: теория, расчет, конструирование: темат. сб. научн. трудов. — К.: ИСИО, 1994. — С. 89—95.

21. Евтушенко А.А., Ткачук Ю.Я., Яхненко С.М. К вопросу о теоретическом обосновании процесса забивания проточной части динамических насосов // Сб. научн. трудов ХГПУ. — Харьков. — 1998. — Вып. 6, Ч. 2. — С. 397—404.

22. Котенко А.И., Сапожников С.В. Сопоставление процесса кавитации с режимами течения газожидкостных смесей в свободновихревом насосе // «Насосы-96», т.1. — Сумы.: ИПП «Мрія», 1996. — С. 347—353.

23. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. — Ленинград: Машиностроение, 1974. — 480 с.

24. Кочевский А.Н., Неня В.Г. Современный подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах // Вісник СумДУ — Суми, 2003. — № 13 (59) — С. 195—210.

25. CFX-5 Solver Theory, 2004, 261 p.