

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ  
СУМСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ  
И ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТЫ:  
ТЕОРИЯ, РАСЧЕТ, КОНСТРУИРОВАНИЕ**

**Тематический сборник научных трудов**

**Киев 1994**

2. Рючи К. Принцип работы свободновихревых насосов. - Перевод №Г-10782, ВШ, Москва, 1981.

3. Герман В.Ф. Создание и исследование сточномассных свободновихревых насосов повышенной экономичности. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1989.

4. Ковалев И.А., Мельник И.А., Соляник В.А. Обобщенные зависимости для выбора основных геометрических параметров при проектировании проточной части свободновихревого насоса // Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. - С.-Петербург, 1992. - С. 30.

5. Rokita J. Wpływ geometrycznych cech konstrukcyjnych na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie // Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej. - 1975. - №20. - p 43-65.

6. Корбутовский А.А. Влияние геометрии отвода на рабочие параметры свободновихревого насоса // Исследование, расчет и технология изготовления гидромашин: Тр. ВНИИГидромаш. - М., 1977.

7. Ohba Hideki, Nakashima Yukitsohi, Shiramoto Kazuaki. A study on Internal Flow and Performance of a Vortex Pump // Bulletin of the ISME. - Vol. 26. - №216. - 1983, June.

УДК 621.964.31/.33:621.6.032.001.5

С.В. Сапожников

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОСОДЕРЖАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОБОДНОВИХРЕВОГО НАСОСА

Для перекачивания сильно загрязненных жидкостей с наличием газовой фазы в виде свободных пузырьков применяются свободновихревые насосы /СВН/.

Исследованию влияния величины газосодержания на характеристики СВН посвящена единственная известная работа [1], в которой описывается испытание СВН с вертикальным валом, рабочим колесом типа "Турго" и спиральной свободной камерой /коэффициент быстроходности  $n_s = 196$ /. Отмечается, что при достижении объемного газосодержания 4% характеристики насоса становятся неустойчивыми и через 2 ч насос прекращает подачу жидкости. Наблюдалось постепенное скопление пузырьков газа в зоне рабочего колеса. Объединяясь в газовую каверну, они заполняли собой межлопастное пространство, перекрывая в него доступ

поступающего из всасывающего патрубка потока. Поэтому низкое критическое газосодержание можно объяснить конструкцией насоса.

Наиболее эффективная работа СВН происходит в диапазоне  $n_s = 90 \dots 110$ . При этом наиболее часто применяется рабочее колесо типа "Туро".

Отсутствие сведений о работе СВН на газожидкостных смесях и потребность в таких данных обусловили необходимость изучения влияния величины объемного газосодержания на характеристики СВН в указанном для  $n_s$  диапазоне и с указанной конструкцией рабочего колеса.

Неоднородная смесь, перекачиваемая СВН, вызывает дополнительные трудности в проведении исследований, а их методика отличается от общепринятых методик, применяемых для испытаний насосов, перекачивающих чистую воду. При работе на газонасыщенной смеси напор, мощность и КПД зависят не только от подачи насоса, но и от объемного газосодержания на входе в насос:

$$\beta = q / (Q + q), \quad /1/$$

где  $q, Q$  - расход соответственно газа и воды.

Объемное газосодержание зависит от давления и с его увеличением в проточной части насоса уменьшается, но в некоторых местах может возникнуть увеличение объемного газосодержания. Поэтому для сравнения результатов испытаний необходимо газосодержание привести к условиям входа в насос. Процесс изменения газового состояния принимается изотермическим [2].

Измеренный расход воздуха  $q$  приводился к условиям входа в насос:

$$q = q_{из} P_r T_1 / (P_1 T_r K), \quad /2/$$

где  $q_{из}$  - измеренный расход воздуха;  $P_r, P_1$  - давление соответственно воздуха перед измерительным устройством и газонасыщенной смеси перед входом в насос;  $T_1, T_r$  - температура соответственно газонасыщенной смеси и воздуха;  $K$  - коэффициент сжимаемости воздуха.

Напор, мощность и КПД насоса определяли по зависимостям согласно ГОСТ 6134-87. Коэффициенты напора  $\psi$ , расхода  $\varphi$  и мощности  $\mu$  рассчитывали так:

$$\psi = 2gH/u_2^2; \quad /3/$$

$$\varphi = 4Q/\pi D_2^2 u_2; \quad /4/$$

$$\mu = \varphi(\psi/\eta) = 8N/\rho\pi D_2^2 u_2^3 \eta, \quad /5/$$

где  $H$  - напор насоса;  $u_2$  - окружная скорость рабочего колеса;  $Q$  - подача насоса;  $N$  - мощность насоса;  $D_2$  - наружный диаметр рабочего колеса;  $\rho$  - плотность перекачиваемой среды.

Для проведения исследований создана экспериментальная установка, позволяющая изучить влияние различных параметров газонасыщенной смеси / объемного газосодержания, размеров газовых пузырьков, давления перед входом в насос, частоты вращения вала насоса / на характеристики СВН /рис. 1/.

Вода из герметичного бака Б через расходомерное устройство Р1 поступает в испытываемый модельный насос Н. За 1 м до входа в насос к воде добавляется воздух через смеситель, который представляет собой трубку со множеством отверстий. Давление воздуха, подаваемого компрессором КМ, понижается регулятором давления РД до 40...55 кПа и через расходомерное устройство Р2 подается в смеситель. Установка выполнена по замкнутой схеме циркуляции воды с возможностью поддержки заданного давления в баке с помощью клапана КВГ. Для обеспечения деаэрации воды в баке установлен разбрызгиватель, а для защиты линии воздуха от попадания воды - обратный клапан КО. Модельный насос приводится в движение балансирной машиной постоянного тока М с изменяющейся частотой вращения до 3000 об/мин. Подача экспериментального насоса регулируется задвижкой З1 на напорном трубопроводе, а регулирование впуска воздуха в подводный трубопровод - вентилем ВН4 на линии подвода воздуха.

Напор, мощность и КПД насоса определяли по зависимостям согласно ГОСТ 6134-87. Коэффициенты напора  $\psi$ , расхода  $\varphi$  и мощности  $\eta$  рассчитывали так:

$$\psi = 2gH/u_2^2; \quad /3/$$

$$\varphi = 4Q/\pi D_2^2 u_2; \quad /4/$$

$$\eta = \varphi(\psi/\eta) = 8N/\rho\pi D_2^2 u_2^3 \eta, \quad /5/$$

где  $H$  - напор насоса;  $u_2$  - окружная скорость рабочего колеса;  $Q$  - подача насоса;  $N$  - мощность насоса;  $D_2$  - наружный диаметр рабочего колеса;  $\rho$  - плотность перекачиваемой среды.

Для проведения исследований создана экспериментальная установка, позволяющая изучить влияние различных параметров газонасыщенной смеси / объемного газосодержания, размеров газовых пузырьков, давления перед входом в насос, частоты вращения вала насоса / на характеристики СВН /рис. 1/.

Вода из герметичного бака В через расходомерное устройство Р1 поступает в испытываемый модельный насос Н. За 1 м до входа в насос к воде добавляется воздух через смеситель, который представляет собой трубку со множеством отверстий. Давление воздуха, подаваемого компрессором КМ, понижается регулятором давления РД до 40...55 кПа и через расходомерное устройство Р2 подается в смеситель. Установка выполнена по замкнутой схеме циркуляции воды с возможностью поддержки заданного давления в баке с помощью клапана КВГ. Для обеспечения деаэрации воды в баке установлен разбрызгиватель, а для защиты линии воздуха от попадания воды - обратный клапан КО. Модельный насос приводится в движение балансирной машиной постоянного тока М с изменяющейся частотой вращения до 3000 об/мин. Подача экспериментального насоса регулируется задвижкой З1 на напорном трубопроводе, а регулирование впуска воздуха в подводный трубопровод - вентилем ВН4 на линии подвода воздуха.

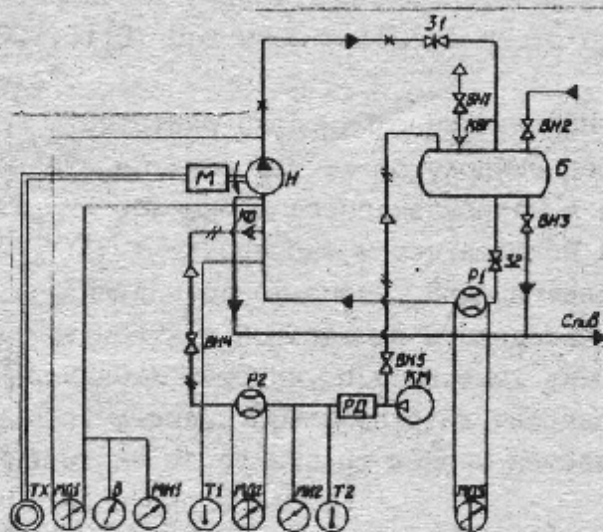


Рис. 1. Схема стенда: — вода; - - - воздух; X — газо-насыщенная смесь

Для визуального наблюдения за прохождением смеси воздуха и воды изготовлена прозрачная модельная проточная часть /  $\eta_s = 100\%$ . Рабочая камера выполнена кольцевой с тангенциальным входным патрубком и осевым подводом. Ширина свободной камеры равна диаметру выходного патрубка.

Физическая картина течения чистой жидкости в проточной части СВН исследована целым рядом авторов [3; 4]. Наблюдения за процессом течения газожидкостной смеси в проточной части СВН пока-

зали, что наличие пузырьков газа в подводимом потоке изменяет картину течения внутри насоса [5].

При малом значении газосодержания  $\beta < 2\%$  наблюдается равномерное распределение воздушных пузырьков во входящем потоке и в свободной камере на радиусах, меньших радиуса всасывающего патрубка. Концентрация газовых пузырьков такая же, как и на входе в насос. Пузырьки воздуха начинают скапливаться на входе в рабочее колесо у нерабочей стороны лопатки. Неравномерность распределения давления по ширине и длине межлопастного канала приводит к движению пузырьков воздуха из области с большим давлением в область меньших давлений, к нерабочей стороне лопатки и ко входу в рабочее колесо. Пузырьки воздуха начинают отставать от основного потока и накапливаться. В свободной камере наблюдается накопление пузырьков у входа в насос ближе к передней стенке, которое занимает небольшую область в проточной части СВН, что приводит к незначительному ухудшению характеристик насоса.

При дальнейшем увеличении газосодержания  $\beta$  воздушные пузырьки поднимаются вверх по всасывающей трубе и поток начинает поступать в свободную камеру в разделенном виде. Воздушная каверна в межлопастном пространстве распространяется вдоль нерабочей стороны лопатки к выходу из рабочего колеса, увеличивая свое сечение и стремясь к ра-

бочей стороне лопатки. Вся свободная камера заполняется пузырьками воздуха, но наибольшее их скопление наблюдается на радиусе выхода из рабочего колеса, где образуется водовоздушный жгут.

В проведенных испытаниях не был достигнут момент срыва подачи насоса, а наблюдалось значительное снижение его параметров.

На рис. 2, а изображена напорная характеристика модельной проточной части, полученная при частоте вращения  $n = 1000$  об/мин и при различном газосодержании. Для наглядности коэффициенты напора и подачи отнесены к коэффициентам напора и подачи при максимальном КПД. При  $\beta = 2\%$  напорная характеристика параллельна характеристике при  $\beta = 0$ , а падение напора составляет 4%. При дальнейшем увеличении газосодержания вид характеристик насоса начинает изменяться.

На рис. 2, а показаны изменения КПД, подачи и напора в оптимальной точке в зависимости от газосодержания. При газосодержании  $\beta < 3\%$  "свободный" газ незначительно влияет на подачу и напор насоса, затем наступает резкое снижение этих параметров и при  $\beta > 7\%$  кривая падения несколько сглаживается. Такой же вид кривой имеет график изменения КПД насоса, но происходит более резкое его изменение и при  $\beta = 10\%$  КПД насоса составляет 56% максимального. При этом точки измерения полезной мощности оказываются в одной кривой независимо от количества вдуваемого воздуха /рис. 2, в/.

Таким образом, создана экспериментальная установка, разработана методика исследований СВН на газонасыщенных смесях и проведены испытания модельного СВН на смеси воды и воздуха при различном объеме вдуваемого воздуха. Наблюдения в прозрачной проточной части позволили выявить места скопления воздушных пузырьков. Отмечено, что увеличение газосодержания приводит к падению КПД, подачи и напора СВН, но его мощность остается неизменной.

#### Литература

1. Kikuyama K. and etc. *Effects of Entrained Air Upon a Vortex Pump Performance* // Programme 8-th Conf. Fluid Mech. Vol. 1. - Budapest, 1987. - P. 358-365.
2. Несытов Е.К. Центробежный насос для перекачивания высокоаэрированных жидкостей // Тр. ВНИИГидромаш. - М., 1992. - С. 13-20.
3. Aoki M. *Studies on the Vortex Pump (First Report, International Flow)* // Bulletin of the JSME. Vol. 26, N213, 1983, p. 387-391.
4. Ohba H., Nakashima Y., Shiramoto K. *A study on Internal Flow and Performance of a Vortex Pump (Part 1. Theoretical Analysis)*. - Bulletin of JSME. Vol. 26. N216, 1983. P 999-1006.

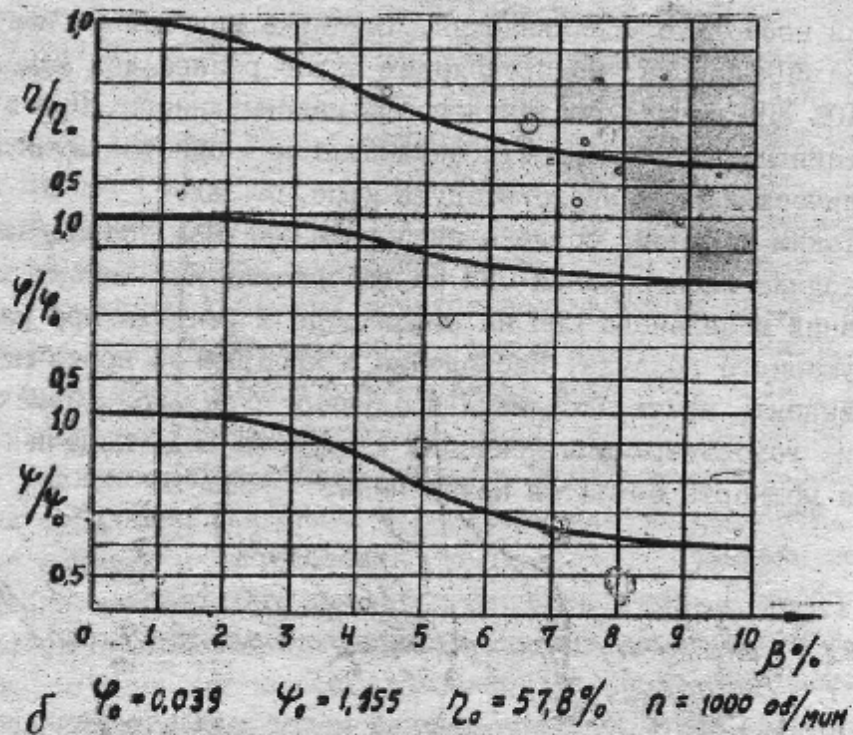
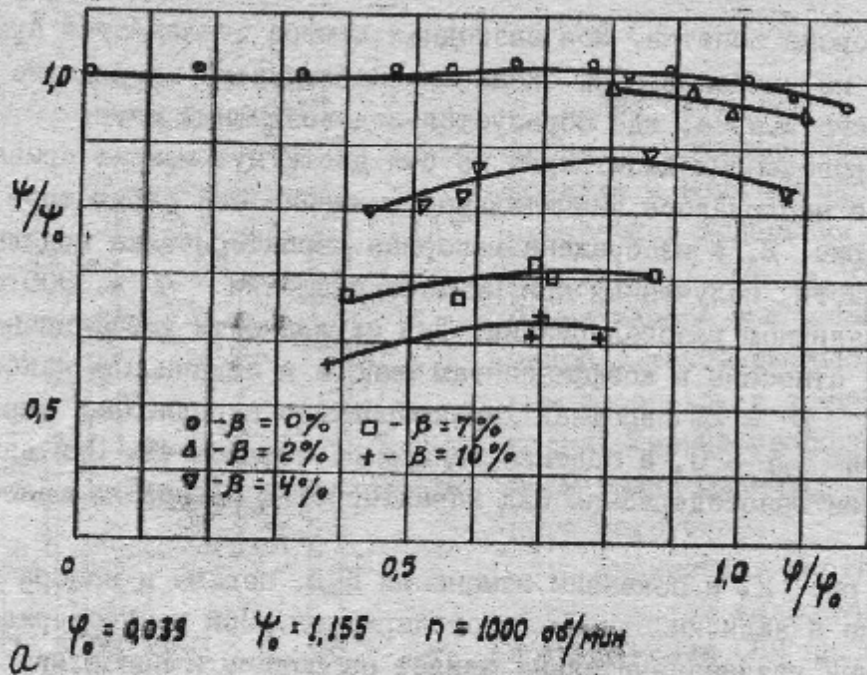


Рис. 2. Влияние газосодержания: а - на напорную характеристику СВН; б - на ее оптимальную точку; в - на мощность СВН



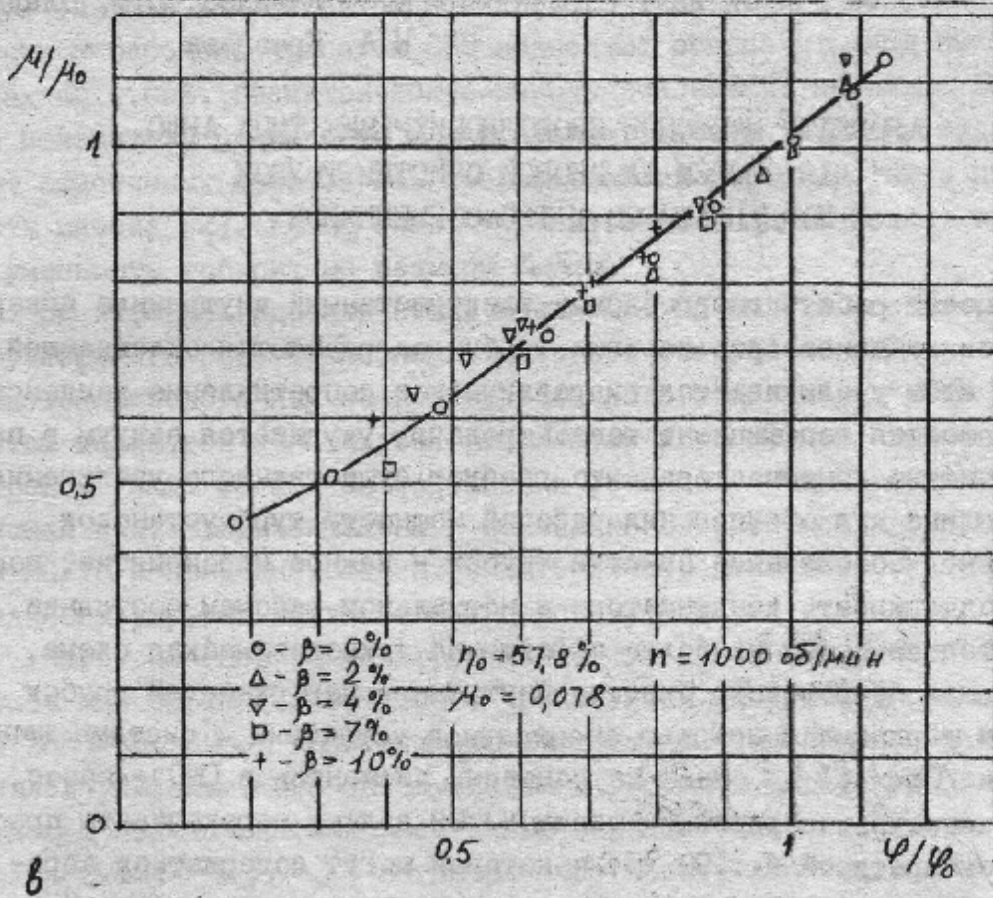


Рис. 2. Окончание

Б. Ковалев И.А., Сапожников С.В. О возможности перекачивания газожидкостной смеси свободновихревым насосом // Тез. докл. республ. науч.-техн. конференции. - С.-Петербург, 1992. - С. 37.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Кафедре гидравлических машин Сумского государственного университета - 25 лет .....	4
Евтушенко А.А., Ржебаев Э.Е., Швиндин А.И., Шифрин М.И. Состояние и проблемы развития насосостроения на Украине .....	9
Малик А.В., Недоспасов В.П., Головин В.А., Визенков Г.В. О направлении работ по стандартизации в насосостроении на Украине .....	16
Евтушенко А.А. Стандартизация выбора параметров вновь создаваемых насосов общепромышленного назначения .....	20
Косторной С.Д. Моделирование нестационарного отрывного обтекания лопастных систем гидромашин .....	28
Косторной С.Д. Численное моделирование отрывных течений в лопастных гидромашинах .....	39
Григоров В.П. Дифференциальные уравнения движения жидкости с переменной вдоль потока массой по криволинейной вращающейся стенке .....	50
Ковалев И.А. Численное моделирование течения жидкости в проточной части свободновихревого насоса .....	56
Герман В.Ф. Исследование структуры потока в свободновихревом насосе .....	67
Ковалев И.А., Соляник В.А. Влияние основных геометрических размеров корпуса свободновихревого насоса на его характеристики .....	81

Сапожников С.В. Исследование влияния газосодержания на характеристики свободновихревого насоса .....	89
Ковалев И.А., Олада Н.М., Кравцова Н.А. Агрегаты насосные свободновихревые типа АНШС для систем шариковой очистки трубок конденсаторов и теплообменников .....	96
Ржебаева Н.К., Агаджанова С.В. Разработка физической модели течения в полуоткрытых рабочих колесах центробежных насосов с коэффициентом быстроходности $n_s \leq 80$ .....	101
Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е., Агаджанова С.В. Исследование полуоткрытых рабочих колес центробежных насосов .....	106
Киселев В.Н., Перехрест А.Н., Пырков А.А. Опыт создания консольных насосов для горячих жидкостей .....	113
Василенко Л.А., Тазетдинов В.Г. Выбор типа спирального отвода в зависимости от параметров одноступенчатого насоса с двусторонним входом .....	118
Вертячих А.В., Стаценко А.А., Шкарбуль С.Н. Влияние неравномерности потока, формируемого боковым подводом, на энергокавитационные и виброшумовые характеристики лопастных насосов повышенной быстроходности .....	128
Гусак А.Г., Евтушенко А.А. О целесообразности и принципах создания типоразмерного ряда погружных моноблочных насосов со схемой протоочной части "направляющей аппарат - рабочее колесо" .....	141

Вертепов Ю.М., Арсеньев В.М. Перепуск в жидкостно-кольцевых вакуумных насосах .....	151
Мандрыка А.С. Исследование двух реверсивных насосных колес в потоке без кавитации .....	156
Марцинковский В.А., Гулый А.Н. Бесконтактные уплотнения центробежных насосов и компрессоров .....	168
Хворост В.А., Беда И.Н., Прядко С.В. Вынужденные колебания горизонтальных роторов центробежных машин при сейсмическом воздействии .....	194
Курилов А.Ф. Критическое отношение давлений при течении газа в эквидистантных щелевых каналах .....	203
Курилов А.Ф. Определение расхода газа через щелевые эквидистантные каналы .....	206
Евтушенко А.А., Нена В.Г., Твердохлеб И.Б. Расчет гидродинамического привода в составе сложной гидросети .....	211
Ржебаев Э.Е., Тазетдинов В.Г. Создание отечественных рекуперативных гидротурбин и агрегатов мотор-насос-турбина .....	221
Тазетдинов В.Г. Новый способ эксплуатации рекуперативных гидротурбин .....	226
Ванеев С.М., Королев С.К., Рухлов Ю.Л., Федотов Ю.Т., Бостан И.А. Струйно-реактивные двигатели для приводов шаровых кранов .....	233

Кулинич С.П., Игнатъев А.С. Исследование влияния нескомпенсированной гидродинамической силы на характеристики пропорционального электрогидравлического распределителя клапанного типа .....	239
Коваленко В.М. Исследования по аэродинамике вертикально-осевых ветроэнергетических установок /ВЭУ/ .....	251
Бабенко Н.П., Волков Н.И. Расчет обтекания ротора быстроходного ветродвигателя вертикально-осевого типа методом дискретных вихрей .....	254
Волков Н.И. Анализ изменения углов атаки лопастей ортогонального ветродвигателя на режимах различной быстроходности .....	259
Волков Н.И. Влияние нестационарности обтекания лопастей на аэродинамические характеристики ортогонального ветродвигателя .....	265
Якуба А.Р. Фракционная эффективность конических аппаратов с закрученными потоками .....	269
Якуба А.Р., Кузько С.А. Структура потоков прямоочных вихревых аппаратов .....	281
Якуба А.Р. Оптимизация геометрических и технологических параметров центробежных пылеуловителей .....	291

Кувько С.А., Якуба А.Р. Определение перепада давления в вихревом диоде .....	300
Ремнев А.И. Некоторые аспекты практического при- менения технологии крепления труб с тонкой трубной решеткой осевым деформированием .....	303
Ремнев А.И., Матушкин В.Л. Влияние конструктивно- технологических факторов на усталостную прочность узла крепления трубы с решеткой теплообменного оборудования ...	312