



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
Черкаський інженерно-технологічний інститут
Науково-дослідний інститут прикладних проблем
гідроаеродинаміки і теплообміну

II Українська науково-технічна конференція
ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА
В ІНЖЕНЕРНІЙ ПРАКТИЦІ

27-30 травня 1997

ПРАЦІ

Київ - Черкаси



ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Акинъшин В.Д., Веретельник Т.И., Соломаха Н.В.

Эффективность методов прямого статистического моделирования в динамике разреженного газа 7

Берман В.П., Фадеев В.В., Шевцов В.А.

Перспективы использования трубопроводных гидросистем для транспорта, дробления и измельчения твердых полимерных материалов 11

Иванов Н.И., Гунько И.В.

Групповой гидропривод сельхозмашин 17

Финкельштейн З.Л., Бойко Л.Н.

Технические и экономические условия применения водомасляных рабочих жидкостей для гидросистем высокого давления 23

Финкельштейн З.Л., Бойко Л.Н., Бойко Н.З.

Гидродинамическая очистка жидкостей 29

СЕКЦІЯ І

Гідропривід і гідропневматичні системи управління

Кривошеев В.С.

Течение неньютоновских жидкостей в конических зазорах при наличии эксцентриситета 35

Буслов В.К., Чкалов А.В., Дмитриев Б.В., Алехин Н.Д., Бабич И.П.

Исследование динамических нагрузок на элементы гидропривода ветроэнергетической установки 39

Евтушенко А.А.

Задача создания средств ведения расчетного эксперимента в насосостроении 45

Смертяк С.Ю., Твердохлеб И.Б.

Учет влияния межступенной утечки на рабочую характеристику гидроприводного турбонасосного агрегата 51

Яхненко С.М.

Влияние вида и свойств перекачиваемой среды на выбор конструкции рабочего колеса динамического насоса 55

Марцинковский В.С.

Регулируемое гидростатическое торцовое уплотнение для центробежных машин 63

Кузько С. А. Гидравлические исследования цилиндрических аппаратов со встречными закрученными потоками	68
Якуба А.Р., Олада Е.Н. Прогнозирование энергетических характеристик свободновихревых насосов	71
Соляник В.А. Энергетические качества проточной части свободновихревого насоса типа "Туго"	75
Сапожников С.В. Перекачивание газожидкостных смесей динамическими насосами	81

СЕКЦІЯ ІІ

Технічна гідромеханіка

Финкельштейн З.Л., Ямкова М.А. Движение двухфазной жидкости под действием гидравлических и магнитных градиентов	87
Ямкова М.А. Экспериментальное определение распределения неоднородного магнитного поля в электромагнитном очистителе	93
Якуба А.Р., Калашиников А.Н. Анализ и оценка сил, действующих на частицы в закрученном потоке	98
Голуб В.Г., Приходько А.А., Хрущ В.К. Математическое и экспериментальное моделирование процессов гидродинамики в приложении к решению практических задач теплообмена	103
Славинская Е. С. Прикладные аспекты модели переноса турбулентных напряжений в виде алгебраических соотношений	108
Лукаш А.Ю. Определение критического числа Рейнольдса для круглой трубы с помощью уравнения Бернулли	114
Луговской А. Ф. Вопросы факелообразования в ультразвуковых диспергаторах	118
Коваленко В.Ф., Яхно О.М. Особенности течения жидкостной пленки с волокнистыми включениями по коническим поверхностям	123

Коваль А.Д., Яхно О.М., Яске Н.Н. Анализ результатов смещения сложных реологических сред в механической мешалке при наличии кавитации	130
Белинский В. Г., Зинчук П. И. Нестационарные эффекты при ускоренном движении тела в жидкости из состояния покоя	136
Зинчук П.И., Зинчук А.П. Экспериментальные исследования гидроаэродинамических характеристик крыла на предельно малых отстояниях от опорной поверхности	141
Таурит Т.Г., Яхно О.М. Применение гидродинамических аналогий к расчету характеристик потока рабочей жидкости в элементах гидроавтоматики	147
Малахов А.В. Численное решение 3-мерной внутренней задачи гидромеханики	154

СЕКЦІЯ ІІІ

Математичні методи і комп'ютерне моделювання в гідромеханіці

Баранова І.В. Математичне моделювання течій в елементах гідромашин	158
Рутковская И.А. О проблеме замыкания системы дифференциальных уравнений двумерного потока	162
Цивин М.Н. Генерация D - оптимальных планов на основе N - мерного симплекса	166
Сухоносое А.Ф. Автоматизация исследования многодвигательных приводов с разнородным резервированием	170
Марченко Е. В. Подсистема автоматизации проектирования механизмов	177
Яхненко С.М. Параметрические ряды многофункциональных динамических насосов консольного типа блочно-модульного исполнения	183
Новак С.Н., Чернов А.Е. Компьютерное моделирование работы импульсного торцового уплотнения	188
Неня В.Г. Математичне моделювання течій в осьових занурювальних насосах	192
Волков М.І. Математичне моделювання течій через обертові колові ґратки профілів	197

Коваленко В.М., Рожкова Л.Г.	
Вертикально-осевые ветроэнергетические установки средней быстроходности.....	202
Попова О.А.	
Методика экспериментального исследования течения в роторе ортогональной ветроустановки	205
Сухонос А.Ф., Коваленко А.А., Гудыря В.Я., Бардин А.Е., Чиликин Л.Ю.	
Исследование гидросистемы ветроэнергетической установки в составе САПР	211
Коваленко А.А., Марченко Е.В.	
Проектирование пневматических приводов в составе САПР	217
Ващенко В.А., Краснов Д.М., Заика П.И.	
Устойчивость процесса распространения волны горения по металлизированным конденсированным системам в поле центробежных ускорений	223
Ващенко В.А., Краснов Д.М., Заика П.И.	
Расчет нагрева металлической оболочки изделия при встречном обдуве потоком воздуха и вращении	228
Веретельник Т.И.	
Тепломассоперенос многоатомного разреженного газа в цилиндрическом канале	232
Алфавітний покажчик	237

Перекачивание газожидкостных смесей динамическими насосами

САПОЖНИКОВ С.В.

(Сумской государственный университет)

Аннотация: приведены экспериментальные исследования влияния величин расходного объемного газосодержания на характеристики свободновихревого насоса, показано, что вихревой способ передачи энергии позволяет перекачивать газожидкостные смеси с газосодержанием до 0.45 - 0.47

Потребность в насосах, перекачивающих газожидкостные смеси, существует в энергетике, микробиологической, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, коммунальном хозяйстве и в других отраслях народного хозяйства. Однако, из-за сложности и многосторонности течения газожидкостной смеси в проточной части динамического насоса трудно точно определить влияние свободного газа на характеристики насоса. Поэтому, проблема перекачивания пенообразующих, паро- и газонасыщенных смесей - предмет постоянного внимания насосостроителей.

Присутствие свободного газа в перекачиваемой среде нарушает сплошность потока и искажает гидродинамические условия, соответствующие нормальной работе насоса, что ведет к значительному снижению его параметров (подачи Q , напора H , КПД η). Степень влияния двухфазности потока на параметры течения в проточной части насоса и его характеристики, в целом, определяется, прежде всего, величиной объемного расходного газосодержания:

$$\beta = \frac{q}{q+Q}, \quad (1)$$

где q , Q - объемный расход газа и жидкости соответственно, хотя и незначительное влияние на параметры насоса имеют: размеры пузырьков газа, режимы течения газожидкостной смеси во всасывающем патрубке насоса, характеристика перекачиваемой среды (вязкость, плотность, способность к образованию пены, коэффициент поверхностного натяжения и др.).

Сложность течения двухфазной среды в проточной части насоса не позволяет в настоящее время сделать строгое аналитическое описание процесса. Это связано с изменением плотности потока в различных местах проточной части, разной скоростью движения газообразной и жидкой фаз,

изменением режимов течения или структуры потока и целым рядом других параметров. Попытки теоретического описания процесса движения газожидкостной среды в проточной части центробежного насоса сделаны в [1-3], но и в настоящее время отсутствуют известные достоверные методики расчета насосов, работающих на газожидкостной смеси.

Внешние проявления изменений характеристик динамического насоса при переходе его работы от однофазной жидкости к двухфазной аналогичны случаю его работы при кавитации [4]. Наблюдается падение параметров насоса, появляются шум и вибрация. При некоторой величине газосодержания наблюдается резкое падение напора насоса, даже до полного прекращения его работы (то же, что и кавитационный срыв режима работы насоса).

С увеличением величины объемного расходного газосодержания на входе в насос β в проточной части появляются постоянно образующиеся газовые каверны. Они возникают в результате объединения пузырьков газа и качественно меняют гидродинамические параметры рабочего колеса, подвода и отвода, что приводит к нарушению кинематического подобия потока при различном содержании газа [5]. При достижении некоторой величины, называемой расходным критическим газосодержанием $\beta_{кр}$, увеличивающиеся в размерах газовые каверны перекрывают межлопастные каналы рабочего колеса, происходит разрыв сплошности потока и насос прекращает свою работу. Для центробежного насоса величина критического газосодержания лежит в пределах 0.12-0.15 [6]. В свободновихревом насосе, благодаря его конструкции, в экспериментальных исследованиях без разделения газовой и жидкой фаз достигнута величина $\beta_{кр} = 0.45-0.47$ [7,8]. Для оценки влияния газа на характеристики насоса удобным является соотношение безразмерных коэффициентов напора ψ , подачи φ и мощности μ к безразмерным коэффициентам этих параметров в точке максимального КПД при перекачивании насосом чистой жидкости [7]. Безразмерные коэффициенты определяются как:

$$\psi = \frac{2gH}{u_2^2}; \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{4Q}{\pi D_2^2 u_2}; \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\varphi \psi}{\eta} = \frac{8N}{\rho \pi D_2^2 u_2^2 \eta}, \quad (4)$$

где H - напор насоса, u_2 - окружная скорость рабочего колеса, Q - подача насоса, N - мощность насоса, D_2 - наружный диаметр рабочего колеса, ρ - плотность перекачиваемой среды.

По результатам испытаний [8] получены безразмерные коэффициенты в оптимальной точке: $\varphi_0 = 0.039$; $\psi_0 = 1.155$; $\mu_0 = 0.078$. Коэффициент полезного действия в оптимальной точке составил $\eta = 0.578$.

Характеристики свободновихревого насоса при различном расходном газосодержании β были получены в результате снятия частных характеристик на рабочем интервале при подачах $0.56Q$, $0.75Q$, Q , $1.13Q$. Количество впущенного воздуха увеличивалось до прекращения подачи насоса (достижения величины расходного критического газосодержания). Линии постоянного газосодержания являются характеристиками насоса. Изменение напорной характеристики показано на рис. 1.

Как видно из рисунка, в режимах "недогрузки" (при $\varphi < \varphi_0$) падение напора больше, чем в оптимальной точке. При $\beta = 0.40$ разница составляет 25%. Такая же картина наблюдается и на характеристике КПД (рис. 2).

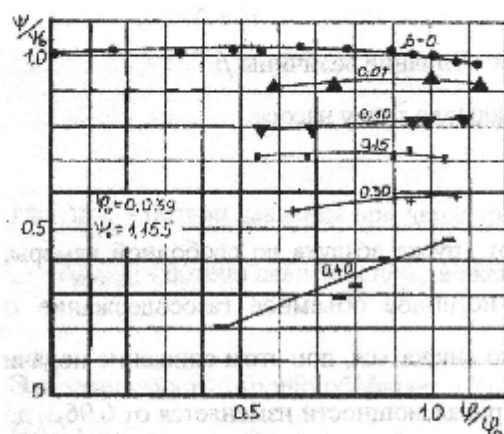


Рисунок 1 - Влияние величины β на напорную характеристику насоса

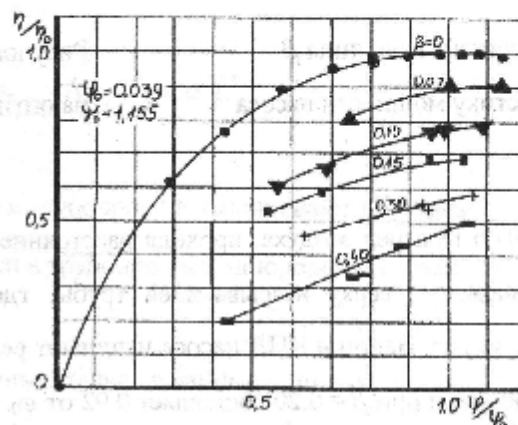


Рисунок 2 - Влияние величины β на КПД насоса

На характеристике мощности (рис.3) не наблюдается каких-либо значительных изменений мощности. В зоне, близкой к оптимуму, точки при различном газосодержании практически ложатся на кривую мощности при $\beta = 0$.

На рис.4 показано изменение параметров насоса в оптимальной точке при увеличении газосодержания до 0.47. До величины $\beta = 0.06 - 0.07$ наблюдается некоторый рост (2-4%) параметров испытываемого насоса. До этой точки воздушные пузырьки поступают в свободную камеру равномерно перемешанные с водой (пузырьковая структура потока).

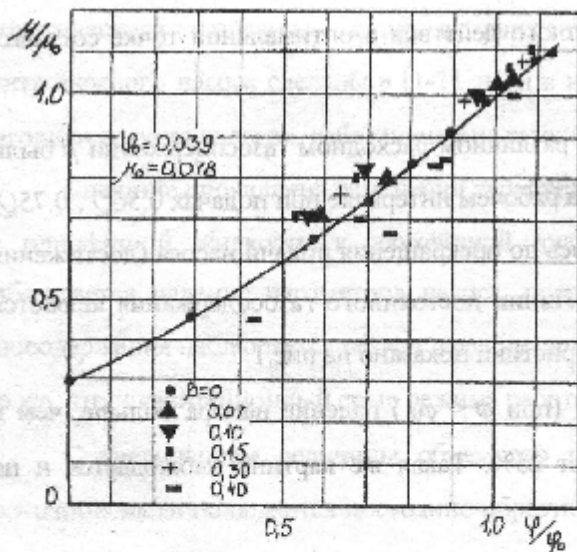


Рисунок 3 - Влияние величины β на характеристику мощности насоса

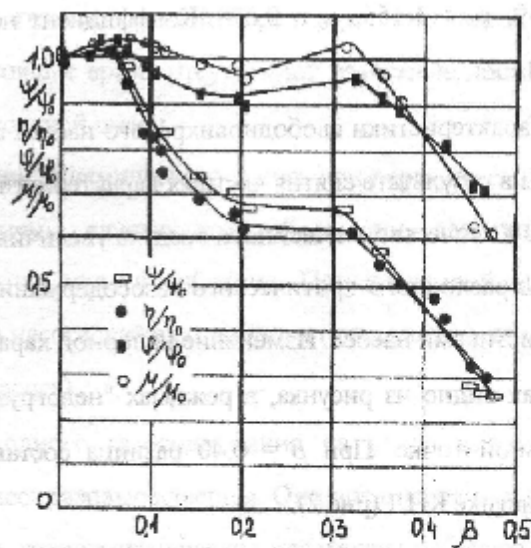


Рисунок 4 - Влияние величины β на оптимальную точку насоса

При $\beta > 0.06$ пузырек воздуха, проходя расстояние от впуска воздуха до свободной камеры, начинает подниматься к верху всасывающей трубы, где истинное объемное газосодержание α начинает увеличиваться. Напор и КПД насоса начинают резко снижаться, при этом снижение подачи насоса не такое резкое и при $\beta = 0.20$ составляет 0.92 от ϕ_0 . Кривая мощности изменяется от $0.96\mu_0$ до $1.04\mu_0$. Истинное объемное газосодержание определяется как отношение площади поперечного сечения, занятой газом, к общей площади поперечного сечения потока: $\alpha = A_g/A$. При $\rho_g \gg \rho_l$ α можно определить по зависимости [9]:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + \sqrt{1 - \beta}} \quad (5)$$

При $\beta = 0.15 - 0.20$ происходит частичное разделение фаз и только отдельные пузырьки поступают в свободную камеру вместе с водой. Во всасывающем патрубке наблюдаются волновая и снарядная структуры течения. Часть воздуха из верхней части всасывающей трубы, минуя рабочее колесо, сразу поступает в напорный патрубок.

До $\beta = 0.32 - 0.34$ напор и КПД не изменяются, а мощность и подача начинают расти.

При дальнейшем увеличении объемного расхода содержания воздуха в подаче все параметры насоса падают.

При течении газожидкостной смеси во всасывающем и напорном трубопроводах насоса потери были бы большими, если бы в них двигались газ и жидкость отдельно в тех же объемах [9]. Потери могут отличаться в несколько раз. Изменение сопротивления сети насоса, связанное с двухфазностью потока, в свою очередь, приводит к изменению режимов работы насоса, что меняет среднюю скорость движения газожидкостного потока и приводит к изменению истинного объемного газосодержания α в проточной части и, в конечном итоге, к изменению характеристик насоса. Изменение характеристики сопротивления сети весьма существенно, даже если принять во внимание только изменение потерь на трение по длине трубопровода. Одной из наиболее простых зависимостей для определения потерь давления на трение является формула, предложенная А.А.Армандом [9]:

$$\Delta p_{тр} = \Delta p_{тр ж} (1 - \alpha)^n, \quad (6)$$

где $\Delta p_{тр}$ - потери давления при движении в трубопроводе газожидкостной смеси;

$\Delta p_{тр ж}$ - потери давления при движении в трубопроводе однородной жидкости (при $\beta = 0$).

Эта зависимость хорошо обобщает экспериментальные данные в широком диапазоне газосодержания [10]. Величина n при этом изменяется в зависимости от средней скорости газовой фазы в пределах 1.53-2.30. По экспериментальным данным наиболее вероятное (среднее) значение для пузырькового и снарядного режимов течений $n = 1.75$.

При расчете потерь в сети насоса необходимо учесть также потери, обусловленные изменением количества движения, силой тяжести, изменением криволинейности канала, наличием местных сопротивлений [9].

В статье рассмотрен один из способов повышения способности динамического насоса перекачивать газосодержащие смеси - применение вихревого принципа передачи энергии. Такая схема воплощена в свободновихревом насосе, способном перекачивать смеси с газосодержанием до 0.45-0.47 без дополнительных устройств подготовки смеси.

1. Грабов Г. Исследование разных принципов действия гидравлической подачи твердых веществ.- Фрейбергер Форшунгсхфт А722- Лейпциг: ФЕБ Дойчер Ферлаг фюр Грундштоффиндустри, 1986.
2. Исследование характеристик центробежного насоса при течении двухфазного потока. Сообщение 2. Определение напора /ВЦП. -№ М-41915. -Пер. ст. Фудзиэ Х. из журн.: Нихон кикай гаккай ромбунсю. -1985, т. 51, № 471, С. 3754-3759.
3. Характеристики центробежных насосов, работающих на смеси вода-воздух и размеры воздушных пузырьков у крыльчаток / ГП НТБ.- № 87/58570.- Пер. ст. Minemura K. и др. из журн.: JSME Bulletin, 1985, Vol. 28, № 244. -Р. 2310-2318.
4. Котенко А.И., Сапожников С.В. Сопоставление процесса кавитации с режимами течения газожидкостных смесей в свободновихревом насосе //Труды 8-й Международной научно-технической конференции "Насосы-96", т.1. -Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996. - С. 347-353.
5. Ковалев И.А., Сапожников С.В. О возможности перекачивания газожидкостной смеси свободновихревым насосом // Тезисы докладов научно-технической конференции "Научные проблемы энергомашиностроения и пути их решения"- С.-П.: СПбГТУ, 1992. - 37с.
6. Конструкции центробежных насосов для подачи жидкостей с высоким газосодержанием / ВЦП.- № М-16078. -Пер. ст. Kosmowski I. из журн.: British Pump Manufacturers' Association. Technical Conference. -1983. -№8 Cambridge -Р. 159-169.
7. Сапожников С.В. Исследование влияния газосодержания на характеристики свободновихревого насоса // Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты: теория, расчет, конструирование: Тематический сборник научных трудов / Под ред. И.А.Ковалева. - К.: ИСИО, 1994, С. 89-95.
8. Сапожников С.В., Ковалев И.А. Исследование работы свободновихревого насоса на газожидкостной смеси // Тезисы докладов научно-технической конференции "Гидромеханика в инженерной практике". -К.: КПИ, 1996. - С. 59-60.
9. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках /Пер. с англ. Пер. изд.: Великобритания, 1983. -М.: Недра, 1986.