

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК
наукових праць
Кіровоградського державного
технічного університету

Техніка в сільськогосподарському виробництві,
галузеве машинобудування, автоматизація

ВИПУСК 7



КІРОВОГРАД - 2000

МЕТОДИКА ПЕРЕСЧЕТА РАБОЧЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОБODНОВИХРЕВОГО НАСОСА С ВОДЫ НА ГАЗОЖИДКОСТНУЮ СМЕСЬ

Среди динамических насосов свободновихревые отличаются наибольшей приспособленностью к перекачиванию газожидкостных смесей [1]. В данном случае рассматривается свободновихревой насос типа "Turo" (СВН), получивший наибольшее распространение на практике [2]. СВН способен работать без срыва параметров при величине объемного расходного газосодержания $\beta \leq 0,45-0,47$, тогда как для типовых центробежных указанная величина составляет $\beta \leq 0,12-0,15$. В данном случае

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

где q, Q – объемный расход газа и жидкости соответственно. Кроме собственно срыва параметров насоса влияние наличия свободного газа в перекачиваемой среде проявляется в изменении характеристик динамического насоса существенно раньше достижения величины критического газосодержания. Данное влияние достаточно существенно и должно учитываться при выборе насоса для перекачивания газожидкостной смеси. Механизм влияния газосодержания на характеристики насоса сложен [3]. Кроме собственно величины β значение 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.). В этих условиях пересчет рабочей характеристики динамического насоса с воды на газожидкостную смесь чисто аналитическим или расчетным путем пока представляет собой непреодолимо трудную задачу. Соответственно приходится искать чисто эмпирическое или полуэмпирическое решение задачи [4]. В данной работе на базе экспериментальных данных [5] рассматривается вопрос о возможной методике пересчета рабочей характеристики СВН с воды на газожидкостную смесь.

Ранее решение указанного вопроса получено [6] применительно к СВН типа "Turo" с коэффициентом быстроходности $n_s = 100$,

$$n_s = \frac{3,65n \cdot Q}{H^{3/4}}$$

где n – частота вращения насоса, об/мин; Q – подача насоса, м³/с; H – напор насоса, м. Аппроксимация экспериментальных зависимостей для оптимального режима работы насоса (режим работы насоса по подаче с максимальным КПД) дала результат

$$\begin{aligned} \varphi &= 1 + 3,1\beta - 6,1\beta^2 + 365,1\beta^3 - 873,1\beta^4 + 719,1\beta^5; \\ \psi &= 1 + 4\beta - 88,2\beta^2 + 479,8\beta^3 - 1033,6\beta^4 + 755,3\beta^5; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{\varphi}{\varphi_0}; \quad \psi = \frac{\psi}{\psi_0}; \quad \varphi = \frac{4Q}{\pi D_2^2 u_2}; \quad \psi = \frac{2gH}{u_2^2},$$

где D_2 - наружный диаметр рабочего колеса; u_2 - окружная скорость на выходе рабочего колеса; φ - коэффициент подачи; ψ - коэффициент напора. Индекс "0" относится к параметрам при $\beta = 0$, параметры без индекса - параметры насоса на газожидкостной смеси.

В работе [7] на основе экспериментальной зависимости влияния величины объемного газосодержания на мощностную характеристику СВН получена связь

$$\psi^2 \left(1 - k_0 \frac{Q_0^2}{H_0} \right) - \psi + k \cdot k_0 \frac{Q_0^2}{H_0} \varphi^2 = 0 \quad (2)$$

где $k_0 = \frac{h_{г.с_0}}{Q_0^2}$ - коэффициент, учитывающий все частные коэффициенты, как местных сопротивлений, так и коэффициент потерь на трение при работе насоса на воде; $h_{г.с_0}$ - потери энергии на преодоление гидравлических сопротивлений в проточной части СВН, работающего на воде [2]; $k = k/k_0$ - величина, характеризующая изменение коэффициента гидравлического сопротивления проточной части СВН при переходе с воды на газожидкостную смесь. В этой же работе приводятся экспериментальные данные относительно связи k_0 с коэффициентом быстроходности насоса n_s , которые можно аппроксимировать зависимостью

$$k_0 = 10^3 \cdot e^{273,73/n_s - 27,183 \cdot 10^{-3} \cdot n_s} \quad (3)$$

Наконец, в работе [8] показано, что в основе всех используемых СВН типа "Туго" лежит одна и та же модельная проточная часть. Насосы с $n_s \neq n_{сонм}$ созданы за счет введения в нее немодельных изменений. Соответственно, можно предположить, что характер влияния величины объемного газосодержания на характеристики СВН типа "Туго" будет одинаковым, не зависимо от величины его коэффициента быстроходности. Данное предположение означает, что в уравнении (2) только параметр k_0 является функцией коэффициента быстроходности насоса, имеющей вид (3). Другими словами, систему уравнений (2) и (3) можно полагать справедливой для СВН типа "Туго" любой быстроходности.

Изложенное позволяет производить путем совместного решения уравнений (2) и (3) пересчет параметров ψ и φ СВН типа "Туго" любой быстроходности в его оптимальном режиме работы по КПД, используя из (1) связь $\varphi = f(\beta)$ и при условии известности связи $k = f(\beta)$. Последняя получается путем совместного решения уравнения $\varphi = f(\beta)$ и (1), получено для насоса с $n_s = n_{сонм}$, и уравнения (2)

$$\bar{k} = \frac{\psi - \psi^2 \left(1 - k_0 \frac{Q_0^2}{H_0} \right)}{k_0 \left(\frac{Q_0^2}{H_0} \right) \varphi^2} \quad (4)$$

В части пересчета мощностной характеристики насоса в его оптимальном режиме работы укажем на следующее. Пересчету подлежит внутренняя потребляемая насосом мощность. Внешняя отличается от внутренней на величину внешних механических и объемных потерь энергии [9], которые определяются конструкцией подшипников и концевых уплотнений конкретного насоса. При этом в основе лежит допущение [7], что внутренние механические потери энергии (потери на дисковое трение) не зависят от величины объемного газосодержания в перекачиваемой среде.

С учетом сказанного для $\beta \leq 0.3$ имеем [7]

$$\mu / \varphi = \text{tg} \alpha_0 = \text{const}, \quad (5)$$

где: $\mu = \frac{\mu}{\mu_0}$, при этом коэффициент мощности $\mu = (\varphi \psi) / \eta = \frac{(8N)}{(\rho \pi D_2^2 u_2^3 \eta)}$; η - КПД насоса; ρ - плотность перекачиваемой жидкости; N - внутренняя мощность, потребляемая насосом. Согласно экспериментальным данным [7] для диапазона $\beta \leq 0.3$ $\alpha_0 = 38^\circ$ и, соответственно с учетом (1) и (5) имеем искомую связь $\mu = f(\beta)$. Зная зависимости $\varphi = f(\beta)$, $\psi = f(\beta)$ и $\mu = f(\beta)$ как производную можно найти зависимость $\eta = f(\beta)$ [9].

Сказанное выше относительно пересчета напорной, мощностной и энергетической характеристик СВН типа "Туго" для диапазона $\beta \leq 0.3$ можно распространить на весь рабочий диапазон насоса по подаче, поскольку согласно экспериментальным данным [5] форма указанных характеристик насоса в пределах рабочего диапазона при изменении величины объемного газосодержания в перекачиваемой среде не изменяется.

В части диапазона значений $0.3 < \beta \leq 0.45 - 0.47$ вышеизложенное перестает быть справедливым. На границе $\beta \approx 0.3$ происходит резкое изменение физической картины течения газожидкостной смеси в проточной части рассматриваемого насоса [10]. Как следствие, резко меняется форма напорной и, соответственно, мощностной характеристики насоса. Поэтому говорить о возможности корректного пересчета характеристик во всем рабочем диапазоне подач нельзя. Для оптимального режима работы насоса, учитывая весьма пологий характер зависимости $\eta = f(\beta)$ СВН типа "Туго", можно считать зависимость (1) $\varphi = f(\beta)$ справедливой и для $\beta > 0.3$. Согласно нашим экспериментальным данным при $\beta > 0.3$ зависимость (5) сохраняется, но величина α меняется, т.е. при $\beta > 0.3$ имеем $\alpha = f(\beta)$. Полагая в первом приближении прямолинейную связь $\alpha = \alpha_0 + a\beta$ и используя наши экспериментальные данные, можно получить $a = 14$. Тогда мы получаем возможность для оптимального режима работы насоса при $\beta > 0.3$ пересчитывать наряду с $\varphi = f(\beta)$ и его мощностную характеристику $\mu = f(\beta)$. С определенной погрешностью можно для диапа-

зона $\beta > 0.3$ считать справедливой и зависимость $\psi = f(\beta)$ из (1). Тогда, в оговоренных пределах для $\beta > 0.3$ и оптимального режима работы насоса мы имеем возможность получить и зависимость $\eta = f(\beta)$. При распространении изложенного относительно области $\beta > 0.3$ для оптимального режима работы насоса на область всего рабочего диапазона режимов работы насоса следует иметь ввиду сделанные оговорки относительно точности получаемых результатов.

Изложенное является обобщением большого цикла работ и предназначено для практического использования в случае применения СВН типа "Туго" для перекачивания газожидкостных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапожников С.В. Перекачивание газожидкостных смесей динамическими насосами // Праці II Укр. наук.-техн. конф. "Гідромеханіка в інженерній практиці". -Черкаси, ЧІТІ, 1998. -С. 81-86.
2. Евтушенко А.А., Соляник В.А. Рабочий процесс свободновихревого насоса типа "Туго" // Вестник НТУУ "КПИ": Машиностроение, Вып.34. -К.: 1999. -С. 346-355.
3. Сапожников С.В. Общее и отличное в явлении срыва параметров при критическом газосодержании в центробежном и свободновихревом насосах // Вестник НТУУ "КПИ": Машиностроение, вып.34. -К.: 1999. -С. 355-361.
4. Евтушенко А.А., Сапожников С.В. Основные положения методики пересчета характеристики динамического насоса с воды на газожидкостную смесь // Вісник СумДУ, 1998, №2(10). -С.71-75.
5. 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.: ИСДО, 1994, -С. 89-95.
6. Сапожников С.В., Яхненко С.М. Научно-техническое обеспечение проекта создания многофункциональных консольных насосов блочно-модульного исполнения // Вестник НТУУ "КПИ": Машиностроение, вып.35. -К.: 1999. -С. 246-256.
7. Евтушенко А.А., Сапожников С.В., Соляник В.А. Коэффициент полезного действия свободновихревого насоса типа "Туго" при работе на чистой жидкости и газожидкостной смеси // Вестник НТУУ "КПИ": Машиностроение. - К.: 1999. - Т. 1. - Вып. 36. - с. 249-255.
8. Евтушенко А.А. О гидравлическом подобии свободновихревых насосов типа "Туго" // Сб. научн. тр. - Алчевск: ДГМИ, вып. 11, 2000. - С. 110-117.
9. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. - М.: Машиностроение, 1977. - 288 с.
10. 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.

ЗМІСТ

1. *Коваленко В.Ф., Яхно О.М.*
Применение пленочных течений в системах очистки
рабочих жидкостей гидропривода от волокнистых включений 3
2. *Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Томчук В.І., Обертюх М.Р.*
Генератор імпульсів тиску для гідроімпульсних
приводів технологічних машин 9
3. *Обертюх Р.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх М.Р., Малярчук А.О.*
Малогабаритний пневмоімпульсний вібратор
для інтенсифікації технологічних процесів 15
4. *Зайончковський Г.Й.*
Сучасні тенденції в розвитку діагностики
гідроприводу мобільних машин 21
5. *Бадах В.М., Федоричко Я.Б.*
Датчики витрати робочої рідини на основі
струминних осциляторів 26
6. *Луговской А.Ф.*
Ультразвуковое распыление в системах подготовки
топливно-воздушной смеси 30
7. *Губарев А.П.*
Комбинированные средства реализации систем
управления дискретной гидропневмоавтоматики 34
8. *Турик В.Н., Макаренко Р.А.*
Аэродинамика вихревой камеры с равномерным
тангенциальным подводом воздуха 38
9. *Евтушенко А.А.*
Применение гидродинамического привода
разделенного типа в насосостроении 44
10. *Сапожников С.В.*
Методика пересчета рабочей характеристики
свободновихревого насоса с воды на газожидкостную смесь 48
11. *Ванев С.М., Королев С.К., Ена В.П.*
Анализ конструктивных схем приводов
шаровых кранов DN = 300 - 1400 мм для компрессорных
станций магистральных газопроводов 52

12.	<i>Неня В.Г., Руденко А.А.</i> Гидродинамические особенности течения в пазухах центробежного рабочего колеса плавающего типа и его математическое моделирование	58
13.	<i>Кочевский А.Н., Неня В.Г.</i> К методике проектирования отводящего устройства осевого насоса с лопастной системой типа НР	63
14.	<i>Антоненко С.С., Евтушенко А.А., Ткачук Ю.Я.</i> Полуэмпирическая методика пересчета рабочей характеристики малогабаритного динамического насоса с воды на высоковязкую жидкость	70
15.	<i>Скляревский А.Н.</i> Некоторые вопросы улучшения энергетических показателей гидроприводов испытательных машин	75
16.	<i>Горбатьюк Н.В.</i> Ускоренные испытания гидропередач мобильных машин	81
17.	<i>Колеватов Ю.В., Мороз А.А., Сабельников В.И., Тарасевич В.В., Медведева И.Н.</i> Математическое моделирование работы испытательных стендов.....	88
18.	<i>Іванов М.І., Переяславський О.М., Переяславська О.О., Шаргородський С.А.</i> Динамічні характеристики гідростатичних дозуючих механізмів систем об'ємного гідравлічного рульового керування	94
19.	<i>Ситников А.Е.</i> Методы обеспечения безотказности пневмоагрегатов при опытной отработке	98
20.	<i>Рыкунич Ю.Н.</i> Обеспечение запасов работоспособности при проектировании пневмоагрегатов систем летательных аппаратов	103
21.	<i>Саленко О.Ф., Струтинський В.Б., Приходько В.І., Третьяков О.В.</i> Експериментальні дослідження формування показників якості при гідроструменевій обробці	109
22.	<i>Тихенко В.Н., Волков А.А.</i> Исследование следящих гидроприводов станков с дополнительными обратными связями по нагрузке.....	115
23.	<i>Харин В.М.</i> Автоколебания судовых электрогидравлических рулевых машин	120
24.	<i>Чальцев М.Н.</i> К расчету критической скорости в системах пневматического трубопроводного транспорта	125

25. <i>Запорожец А.И., Хосейн Хайдар А.</i> Обоснование методов ремонта машин и механизмов.....	130
26. <i>Гаража В.В., Хуссейн Зияд</i> Экспериментальная установка для очистки авиационных гидравлических и моторных масел от механических загрязнений в квазипостоянном электрическом поле.....	136
27. <i>Лурье З.Я., Гасюк А.И.</i> Динамика системы гидростатического подъема паровой турбины с высокорасходным предохранительным клапаном непрямого действия.....	141
28. <i>Бочаров В.П., Бадах В.Н.</i> Водяные струйные технологии высокого давления для очистки поверхностей	145
29. <i>Бочаров И.В.</i> Аппарат для гидроструйной диссекции в хирургии	150
30. <i>Финкельштейн З.Л., Бойко Н.З.</i> Применение гидродинамической очистки в системах гидроприводов	155
31. <i>Боков В.М.</i> Гидродинамика размерного формообразования электрической дугой внутренних поверхностей при постоянном межэлектродном зазоре (режим 1).....	159
32. <i>Кулсиков Ю.В., Дубовик В.О.</i> Підвищення ефективності технології відновлення корпусів насосів типу НЩ-У пластичним деформуванням	170
33. <i>Черновол М.И., Аулин В.В., Соловых Е.К., Соловых А.Е., Батехин В.Б.</i> Влияние гидродинамических характеристик потока электролита-суспензии на структуру и состав композиционных электролитических покрытий (КЭП).....	175
34. <i>Смирнов Б.Г.</i> Демодулювання сигналів в системах автоматичного керування змінного струму	185
35. <i>Петренко В.А.</i> Рабочие процессы проникновения влаги и кумуляции агрессивных водно-солевых примесей и пылевых частиц в полостях станочного оборудования	187
36. <i>Филимоныхин Г.Б., Сотников В.С.</i> Установившиеся движения ротора, совершающего плоскопараллельные движения, и автобалансира-демпфера.....	192

37. <i>Гамалий В., Теленкова О., Якорева М.</i> Методы обработки оптических спектров поглощения в автоматизированной системе контроля.....	200
38. <i>Шмат С.І., Абрамова В.В.</i> Обґрунтування кінематичних параметрів крила посівної секції сівалки ССТ – 12В.	206
39. <i>Сабирзянов Т.Г.</i> Некоторые задачи литейной гидравлики	211
40. <i>Носуленко В.І., Чумаченко О.С.</i> РОД фасонних отворів в листовому металі	216