

$$y = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad H = Ha_m^2 = 16, \quad f(x, y) = \begin{pmatrix} H \cdot x \cdot y_1 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad y := \text{rkfixed}(y, 0, 3, N, f).$$

Розрахунковий профіль швидкостей має точку перегину (крива 2 на рис. 1б). Тому зміни магнітної індукції необхідно враховувати при визначенні характеристик магнітної опори.

Наявність точки перетину на кривій 2 є небажаним явищем і може привести до втрати стійкості течії. Встановлено, що суттєвим є перегин профіля швидкості при $Ha_m \geq 6$. Дане значення критерія взято за основу при виборі геометричних параметрів опори.

Висновки

1. Обґрунтовано схемне рішення безконтактної магнітної опори із феромагнітною рідиною, яка має потужні постійні магніти між поверхнями яких і поверхнею стола виконаного із немагнітного матеріалу знаходиться шар феромагнітної рідини.

2. Обґрунтовано вибір параметрів безконтактної магнітної опори із умови обмеження критерія (числа Гартмана), що забезпечує незначний ступінь перегину профіля швидкості в шарі рухомої феромагнітної рідини і відповідно відсутність вихроутворення в об'ємі рідини.

Список літератури:

1. Пат. 114488 Україна, МПК F16C 11/06, F16D 3/16, F16C 32/04. Сферичний шарнір / Струтинський С.В. // № а 2014 03642; заявл. 08.04.2014; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12. – 5 с.: іл. 4.
2. Струтинський С.В. Магнітні опори рідинного тертя з феромагнітною рідиною призначені для просторових механізмів / С.В.Струтинський, О.Д.Коваль // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування». – Київ, 2015. - №1(73) – с. 84-95. ISSN 2305-9001.
3. Радионов А.В. Комбинированные магнитожидкостные герметизаторы – эффективная альтернатива бесконтактным уплотнениям подшипниковых узлов с жидкой смазкой [Текст] / А.В. Радионов, А.Н. Виноградов // Збагачення корисних копалин: Наук.техн.зб. – 2009. – Вип. 35(76). – С.148-155.
4. Брановер Г.Г. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред / Г.Г.Брановер, А.Б.Цинобер - М.: Наука, 1979. – 379 с.
5. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики / Дж.Шерклиф – М.: Мир, 1967. – 319 с.

УДК 621.695

Кононенко А.П. д.т.н., проф., **Божко Р.И.**, аспирант

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ ЭРЛИФТНЫХ УСТАНОВОК С РАДИАЛЬНЫМИ НАГНЕТАТЕЛЯМИ

***Аннотация.** Исследованы возможные области применения нагнетательных эрлифтных установок и факторы, ограничивающие применение эрлифтов традиционной конструкции. Выполнен численный анализ работы нагнетательной эрлифтной установки на примере использования в ее составе радиального нагнетателя ЦНВ 200/3,0. Доказано, что в сравнении с эрлифтной установкой традиционной технологической схемы работа эрлифтной установки с нагнетателем ЦНВ 200/3,0 в нагнетательном режиме, в диапазоне относительных погружений $a = (0,15 \div 0,95)$, обеспечивает увеличение высоты подъема жидкости и подачи эрлифта при практически равноценной энергетической эффективности.*

***Ключевые слова:** нагнетательный эрлифт, радиальный нагнетатель, высота подъема, коэффициент полезного действия, подача эрлифта*

Благодаря известным достоинствам эрлифты находят широкое применение в различных отраслях промышленности, в том числе и в строительном деле (для добычи и гидроподъема песка и гравия), подъема полезных ископаемых (конкреций) со дна водоемов, и т. д. [1, 2, 3]. Одним из перспективных направлений развития технологий в этой отрасли является использование эрлифтов для добычи сапропелей и пелоидов [3].

При эксплуатации эрлифтных установок традиционной конструкции движение жидкости (гидросмеси) по отводящему трубопроводу осуществляется самотеком, что

требует обеспечения уклона этого трубопровода в сторону потребителя. Обеспечить движение жидкости (гидросмеси) по отводящему трубопроводу с восходящим уклоном возможно только при абсолютном давлении в воздухоотделителе, превышающем абсолютное давление у потребителя перекачиваемой жидкости (гидросмеси).

Работа эрлифта традиционной технологической схемы с избыточным давлением в воздухоотделителе повлечет снижение его энергетической эффективности, так как это эквивалентно увеличению высоты подъема при прочих равных условиях.

Увеличить энергоэффективность работы эрлифтной установки с радиальным (центробежным) нагнетателем в качестве источника сжатого воздуха возможно при подаче во всасывающий патрубок нагнетателя воздуха с избыточным давлением, имеющим место в воздухоотделителе.

Обоснование энергетической приемлемости использования нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями является актуальной научной задачей, в значительной степени востребованной практикой. Это позволит расширить область применения эрлифтных установок увеличением высоты подъема перекачиваемой жидкости и подачи эрлифта.

При промышленном использовании эрлифтных установок возникают ситуации, когда существуют ограничения по допустимой высоте подъема эрлифта традиционной конструкции из-за ограниченных вертикальных габаритов в месте расположения установки (например, ограничения вертикальными габаритами горных выработок, загроможденностью пространства оборудованием тепловых электростанций и т.д.), что делает невозможным применение таких установок как средств водоотлива (гидроподъема) [4]. В различных отраслях промышленности возникают так же случаи необходимости напорной транспортировки жидкости (гидросмеси) по горизонтальному или наклонному отводящему трубопроводу. Реализация описанного возможна при работе газожидкостного подъемника по принципу нагнетательной эрлифтной установки (рис. 1). Устройство и работа нагнетательной эрлифтной установки изложены в [1].

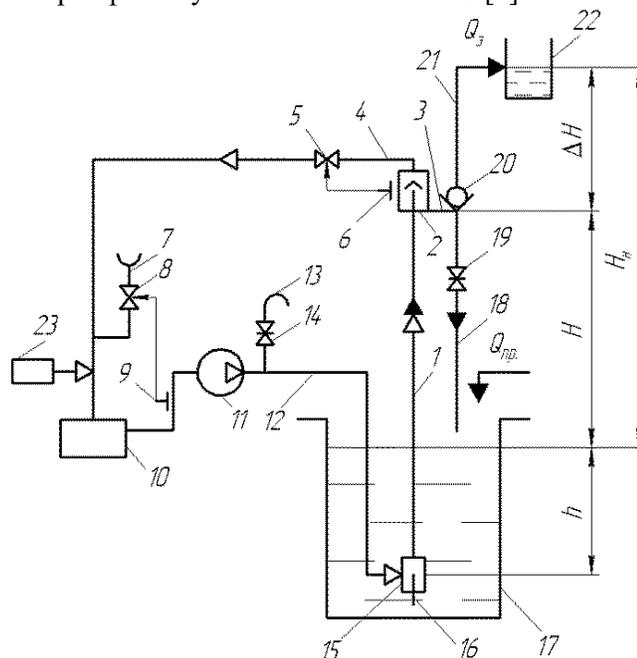


Рис. 1 - Принципиальная схема нагнетательной эрлифтной установки: 1 – подъемная труба; 2 – воздухоотделитель; 3 – сливная труба; 4 – воздухоотводящая труба; 5, 8 – регулирующие клапаны; 6 – датчик уровня; 7 – патрубок; 9 – датчик давления; 10 – влагоотделитель; 11 – радиальный нагнетатель; 12 – напорный воздухопровод; 13 – пусковой патрубок; 14, 19 – задвижка; 15 – смеситель; 16 – подающая труба; 17 – зумпф; 18 – сбросной трубопровод; 20 – обратный клапан; 21 – отводящий трубопровод; 22 – потребитель перекачиваемой жидкости; 23 – дополнительный источник сжатого воздуха (для компенсации уноса воздуха транспортируемой жидкостью).

Согласно заводских характеристик $p_{ан} = f(Q_n)$ и $\eta_n = f(Q_n)$, нагнетатель ЦНВ 200/3 развивает максимально возможное абсолютное давление сжатого воздуха $p_{ан макс} = 3,05 \cdot 10^5$ Па при производительности $Q_n = 168$ м³/мин, обеспечивая в этом режиме работы значение КПД $\eta_n = 0,781$. Такие параметры работы нагнетателя имеют место при нормальных технических условиях на его входе, то есть атмосферном давлении во всасывающем патрубке $p_{авс} = p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па ($p_{авс}$ - абсолютное давление во всасывающем патрубке, p_0 - атмосферное давление) и абсолютной температуре воздуха $T = 293$ К. Максимально возможная степень сжатия нагнетателя при этом $\varepsilon_{макс} = p_{ан макс}/p_0 = 3,05 \cdot 10^5/1,013 \cdot 10^5 = 3,01$.

При транспортировании воды максимально возможное геометрическое погружение эрлифта

$$h_{макс} = \frac{P_{ан макс} - P_0}{\rho \cdot g}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воды, $\rho = 1000$ кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².
 Тогда из (1)

$$h_{макс} = \frac{(3,05 - 1,013) \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} = 20,8 \text{ м.}$$

Для рассмотрения методики анализа работы установки, в качестве примера, было принято значение относительного погружения $\alpha = 0,3$.

При заданных максимально возможном геометрическом $h_{макс} = 20,8$ м и относительном $\alpha = 0,3$ погружениях эрлифта, высота подъема эрлифта

$$H = \frac{h(1 - \alpha)}{\alpha} = \frac{20,8(1 - 0,3)}{0,3} = 48,5 \text{ м.} \quad (2)$$

Общая длина подъемной трубы эрлифта (Рис. 3 а)

$$L = H + h_{макс}, \quad (3)$$

что для рассматриваемого случая составит $L = 48,5 + 20,8 = 69,3$ м

Отнеся рассматриваемый эрлифт к классу коротких, в соответствии с рекомендациями [2, 3, 5, 6], удельный расход воздуха

$$q = 0,767 \cdot \alpha^{-2,2}, \quad (4)$$

откуда при $\alpha = 0,3$ объемное количество воздуха, необходимое для транспортирования единицы объема жидкости (удельный расход воздуха) $q = 10,8$.

Коэффициент полезного действия эрлифта [2, 3, 5]

$$\eta_s = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{q \cdot p_0 \cdot \ln \frac{P_{авс см}}{P_0}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{q \cdot p_0 \cdot \ln \frac{P_{ан макс}}{P_0}}, \quad (5)$$

где $p_{авс см}$ - абсолютное давление в смесителе; принимаем его равным $p_{авс см} = p_{ан макс}$.

Тогда в соответствии с (5)

$$\eta_s = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 48,5}{10,8 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot \ln \frac{3,05 \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5}} = 0,393.$$

КПД эрлифтной установки

$$\eta_{\text{эу}} = \eta_s \cdot \eta_n, \quad (6)$$

значение которого для рассматриваемого случая $\eta_{\text{эу}} = 0,393 \cdot 0,781 = 0,307$.

Подача эрлифта

$$Q_s = \frac{60Q_g}{q}, \quad (7)$$

откуда $Q_s = 60 \cdot 168 / 10,8 = 933 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Рассмотрим работу эрлифтной установки в нагнетательном режиме с тем же нагнетателем ЦНВ 200/3,0 в диапазоне абсолютных давлений в воздухоотделителе $p_{a \text{ вэ}} = (1,013 - 1,25) \cdot 10^5 \text{ Па}$. Пренебрегая гидравлическими потерями в воздухоотводящей трубе 4 (Рис. 2), принято, что давление частично сжатого воздуха на входе в нагнетатель 11 $p_{\text{вс}}$ равно давлению в воздухоотделителе 2, то есть $p_{a \text{ вэ}} = p_{a \text{ вс}}$.

Максимальные значения абсолютного давления у всасывающего патрубка нагнетателя $p_{a \text{ вс}} = 1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ принято исходя из допустимого значения мощности электродвигателя нагнетателя, которое, в этом случае, не превышает его номинальное значение.

Повысив давление в воздухоотделителе до значения $p_{a \text{ вэ}} = 1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ возможно добиться следующих изменений параметров работы эрлифтной установки:

а) увеличить высоту подъема эрлифта на величину

$$\Delta H_n = \frac{p_{a \text{ вэ}} - p_0}{\rho \cdot g}, \quad (8)$$

которая для конкретных условий имеет значение

$$\Delta H_n = \frac{(1,25 - 1,013) \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} = 2,42 \text{ м};$$

б) обеспечить работу центробежного нагнетателя ЦНВ 200/3.0 с параметрами: $p_{a \text{ н макс}} = 3,77 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $Q_n = 208 \text{ м}^3/\text{мин}$; $\eta_n = 0,781$; $\varepsilon_{\text{макс}} = 3,01$;

в) обеспечить значение геометрического погружения смесителя

$$h_n = \frac{p_{a \text{ н макс}} - p_0}{\rho \cdot g} = \frac{(3,77 - 1,013) \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} = 28,1 \text{ м}.$$

В ходе проведенного исследования установлено, что в сравнении с эрлифтной установкой традиционной конструкции работа эрлифтной установки с нагнетателем ЦНВ 200/3,0 в нагнетательном режиме, при абсолютном давлении в воздухоотделителе (на входе в нагнетатель) $p_{a \text{ вэ}} = 1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в диапазоне относительных погружений $\alpha = (0,15 \div 0,95)$ обеспечивает увеличение высоты подъема на $(4,6 \div 24,3)\%$ и подачи эрлифта –

на 23,6% при практично рівноцінній енергетичній ефективності (значення КПД нагнетального ерлифта і ерлифтною установкою, в даних умовах, не нижче аналогічних значень при використанні ерлифта традиційної конструкції). Установлено характер даних залежностей.

Визначено кількісні показники зміни висоти підйому, КПД і подачі нагнетального ерлифта з центробежним нагнетателем ЦНВ 200/3,0 в діапазоні відносного тиску в воздухоотделителі $\bar{p}_{a\text{ в з}} = (1,0 \div 1,234)$, що відповідає діапазону абсолютного тиску $p_{a\text{ в з}} = (1,013 \div 1,25) \cdot 10^5$ Па, при взятій як приклад значенні відносного занурення $\alpha = 0,3$. Так висота підйому, в цих умовах, збільшується на 5%, подача ерлифта збільшується на 57,6% при збільшенні КПД ерлифта на 12,4%.

Список литературы

1. Божко Р.И. Обоснование энергетической целесообразности применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Вестник Донецкого национального технического университета. Серия А - "Естественные науки". - 2017. - № 1(7), - С. 11-19.
2. Гейер В.Г. Эрлифтные установки: Учебное пособие / В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, Я.К. Антонов - Донецк: ДПИ, 1982. - 64 с.
3. Папаяни Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко - М.: Информсвязьиздат, 1995. - 592 с.
4. Кононенко А.П. Опыт применения эрлифтных установок в технологических системах ТЭС / А.П. Кононенко, В.И. Мизерный, Л.Л. Глухман // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 11. - С. 8-12.
5. Малеев В.Б. Исследование и разработка сифонно-вакуумного эрлифта для очистки шахтных водоотливных емкостей: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Малеев Виктор Борисович. - Донецк: ДПИ, 1980. - 289 с.
6. Кононенко А.П. Оптимизация параметров газожиждкостных подъемников / А.П. Кононенко, Т.А. Устименко // Промислова гідроліка і пневматика. - 2010. - № 3 (29). - С. 51-53.

УДК 621.225.001.1

Панченко А.І., д.т.н., проф., Волошина А.А., д.т.н., проф., Панченко І.А.
Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ ПЛАНЕТАРНИХ ГІДРОМОТОРІВ

Анотація. Робота присвячена поліпшенню функціональних характеристик планетарного гідромотора шляхом обґрунтування кінематичної схеми його розподільної системи. Коливання потоку робочої рідини викликають пульсацію тиску в нагнітальній магістралі гідромотора, що викликає вібрацію елементів гідросистеми. Пульсація тиску представляє складний негармонічний процес. Таким чином, гідромотор розглядається, як джерело пульсації, що приводить до функціональних відмов гідросистеми. Встановлено, що одним з основних вузлів планетарного гідромотора, що викликає пульсації тиску, є його розподільна система. Частота і амплітуда цих пульсацій залежить від кінематичної схеми системи розподілу робочої рідини. Досліджено вплив кінематичної схеми розподільної системи на функціональні характеристики планетарного гідромотора.

Ключові слова планетарний гідромотор, розподільна система, кінематична схема, функціональні характеристики.

Найпоширенішими гідромашинами, що застосовуються в гідроприводах активних робочих органів, є планетарні гідромотори, які працюють на низьких частотах обертання з високими крутними моментами. Ця якість планетарних гідромоторів особливо важлива для самохідної техніки, де необхідне забезпечення великих пускових моментів при роботі на заданій потужності. Основний вплив на зміну функціональних характеристик планетарних гідромоторів надає система розподілу робочої рідини, що викликає коливання потоку. Такі коливання викликають пульсацію тиску в порожнині нагнітання гідромотора. При цьому їх амплітуда може перевищувати значення спрацьовування