

УДК 621.65

**МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДЦЕНТРОВО-ВИХРОВИХ  
СТУПЕНЕЙ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ РІДИН ТА  
БАГАТОФАЗНИХ СУМІШЕЙ**

*С.С. Антоненко, канд. техн. наук;  
Е.В. Колісніченко, канд. техн. наук;  
М.В. Найда, студент,  
Сумський державний університет, м. Суми*

*У статті представлено огляд насосного обладнання гідродинамічного принципу дії для перекачування високов'язких та багатофазових сумішей, їхні переваги та недоліки, викликані певними умовами роботи. Розглянуто можливість та перспективи використання відцентрово-вихрових ступеней у даних умовах роботи.*

**Ключові слова:** *насосне обладнання, гідродинамічний принцип дії, високов'язка, багатофазова суміш.*

**ВСТУП**

Упродовж усієї історії існування насособудування виникали і вирішувалися проблеми якісного удосконалення технологій, способів і методик створення найбільш ефективного насосного обладнання [1]. На сьогодні досить актуальним є створення обладнання, здатного максимально ефективно працювати в широких діапазонах подач, напорів, з урахуванням особливостей перекачуваного середовища.

Також вирішення питання перекачування високов'язких рідин ніколи не залишалося без уваги. Науково-технічний прогрес сприяє виникненню більш довершених механізмів для їх перекачування, розвиваються нові технології в інших галузях промисловості і сільського господарства.

Крім цього, властивості і склад перекачуваних середовищ істотно змінюють як характеристики мереж, так і вимоги до характеристик, що використовують насосне обладнання.

Тому першочерговою задачею для даних умов роботи є створення ефективного високотехнологічного насосного обладнання.

**ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ДИНАМІЧНИХ  
НАСОСІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ РОБОТИ НА  
ВИСОКОВ'ЯЗКИХ РІДИНАХ ТА БАГАТОФАЗНИХ СУМІШАХ**

У складі сучасних гідравлічних мереж найбільшим попитом для перекачування високов'язких середовищ користується насосне обладнання гідродинамічного принципу дії. Якщо використовувати загальноприйнятту [2] для лопатевих насосів величину коефіцієнта швидкохідності ( $n_s$ ) їхньої проточної частини, то це область параметрів з  $35 \leq n_s \leq 1200$ . Величина коефіцієнта швидкохідності проточної частини динамічних насосів визначається залежністю

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

де  $n$  - частота обертання ротора, об/хв;  $H$  - напір насоса, м.

Відомо, що максимальний ККД лопатевих насосів досягнутий при  $n_s \approx 150$ , тоді як при  $n_s = 35$  він приблизно дорівнює  $\eta \approx 35-40\%$ . Область особливо малих  $n_s$  належить області параметрів насосів об'ємного типу (гвинтові, поршневі) [3].

Проте висока вартість насосів об'ємного типу, а також низька надійність у роботі в цілому, а на гідросумішах особливо найчастіше не влаштовує організації, які їх експлуатують.

Порівняно з насосами об'ємного типу лопатеві насоси у разі перекачування високов'язких і багатофазних рідин цих недоліків позбавлені.

Рідко трапляються випадки, коли перекачувана рідина є гомогенною. Досить часто зустрічаються середовища дво- і трифазні (у рідині наявні в певних пропорціях тверді включення або бульбашки газу, або і те і інше).

Але при роботі відцентрових насосів традиційного конструктивного виконання на багатофазних гідросумішах внаслідок перекривання прохідних перерізів протічних частин таких насосів твердими частинками або бульбашками газу виникає так зване явище зриву параметрів, що, у свою чергу, призводить до значних економічних збитків організацій, що експлуатують ці насоси. Перекачування багатофазних середовищ вимагає використання спеціальних лопатевих насосів, малочутливих до складу гідросуміші, що перекачується.

У діапазоні швидкохідності  $30 \leq n_s \leq 60$  для перекачування високов'язких і багатофазних середовищ використовуються насоси лабіринто-гвинтові та насоси вихрового принципу дії – вихрові (рис.1) [4].

Лабіринто-гвинтові насоси мають доволі високі напірні показники. Їхнім основним недоліком є складність виготовлення, наслідком чого є значні матеріальні затрати, що призводять до високої собівартості цього обладнання, та низький рівень ККД.

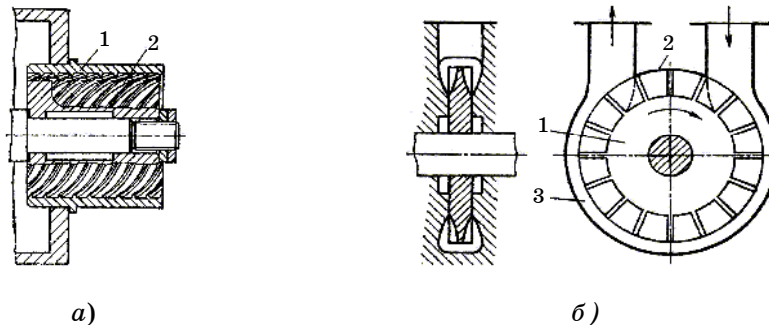


Рисунок 1 - Схеми насосів: а) лабіринто-гвинтового насоса: 1 – втулка; 2 – гвинт.; б) вихрового насоса: 1 – робоче колесо; 2 – перемічка; 3 – концентричний канал

Вихрові насоси, найбільш близькі за характеристиками до лабіринто-гвинтових, набагато компактніші і дешевші від відцентрових насосів традиційних конструктивних схем і при цьому можуть стійко працювати без зриву параметрів при великих кількостях газу в суміші (до 30%).

Проте низький рівень їх ККД ( $\eta = 45\%$ ) є найважливішим недоліком таких насосів. Відмінною ознакою роботи на газорідних сумішах вихрового насоса є те, що при зривному режимі його подача і напір знижуються не до нуля, як у решти лопатевих насосів. Працездатність зберігається при газовмісті в суміші, що перевищує його критичну величину. У цьому випадку напір вихрового насоса дуже малий. Робочим органом вихрового насоса (рис. 1 а) є робоче колесо 1 з радіальними або похилими лопатками. Колесо обертається в циліндричному корпусі з малими торцевими зазорами. У бічних і периферійній стінках корпусу є концентричний канал, що починається біля всмоктувального отвору і закінчується біля напірного. Канал переривається перемичкою 2, яка виконує роль ущільнення між напірною і всмоктувальною порожнинами. Газорідна суміш надходить через всмоктувальний отвір у канал, переганяється по ньому робочим колесом і викидається в напірний отвір [5].

Для вихрових насосів характерною ознакою є простота конструкції, а також технологічність у виготовленні [6]. Але робочий процес їх досить складний і маловивчений.

У діапазоні швидкохідності  $60 \leq n_s \leq 130$  для перекачування рідини, що містить тверді включення, а також різних речовин, які містять механічні суміші та нерозчинний газ, застосовують насоси вільновихрового типу.

За своєю економічною ефективністю вони поступаються відцентровим (їх ККД не перевищує 60%), але мають і переваги: а) вони прості у виготовленні; б) мають високу ремонтпридатність; в) здатні перекачувати рідини, що мають тверді включення, а також рідини зі збільшеним газовмістом.

У діапазоні швидкохідності  $130 \leq n_s \leq 300$  [6] для перекачування твердорідних та газорідних сумішей широке використання отримали відцентрові насоси з одно- та дволопатевими робочими колесами (рис. 2).

З характеристики видно, що відцентрові насоси з однолопатевими робочими колесами досить ефективно працюють на газорідних сумішах з високим вмістом газу (до 50% від загального об'єму гідросуміші). Відцентрові насоси, що мають дві лопаті (діапазон газовмісту від 15% до 34%) та сім лопатей (діапазон газовмісту від 0 до 15%), після чого проходить зрив параметрів насоса.



Рисунок 2 - Робочі колеса відцентрового насоса:  
а) однолопатеве; б) дволопатеве

Основна складність створення насосних установок гідродинамічного принципу дії виникає у разі потреби підняття рідин з великим значенням в'язкості на значну висоту. Для даних умов експлуатації в наш час широкого використання набули заглибні насоси типу ЕЦН ( $n_s$  до 300) [1]. Разом із тим вони не в повній мірі відповідають умовам роботи на високов'язких рідинах. Бажаною для них є робота в постійному режимі з однорідною в'язкістю перекачуваного середовища, що мало змінюється, невеликими напорами і малими термінами служби. На практиці такі

умови забезпечити досить важко, що свідчить про необхідність створення нових вискоефективних малогабаритних високонапірних насосних агрегатів.

Для перекачування багатофазних середовищ використовуються насоси високого тиску. Відцентрові насоси високого тиску застосовуються для перекачування питної, холодної і гарячої води в системах тепло- і водопостачання, конденсату, суміші води з гліколем (до 40% гліколю в суміші), а також інших середовищ без мінеральних жирів, абразивних і довговолочистих включень.

На рис. 3 наведені діапазони використання відцентрових насосів з одно-, дво- та семилопатевого робочих коліс на газорідних сумішах.

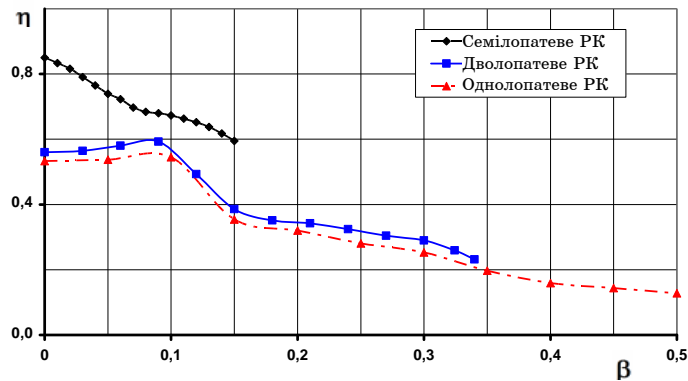


Рисунок 3 - Порівняльні характеристики відцентрових насосів, що працюють на газорідних сумішах

Основні сфери застосування відцентрових насосів - установки водопостачання і підвищення тиску, підживлення котлів, промислові циркуляційні системи, контури водяного охолодження, системи пожежогасіння, а також мийні і зрошувальні установки.

На сьогоднішній день для транспортування рідини в системах водопостачання, у харчовій промисловості (вода, вино, спирт, коньяк, соняшникова олія), у нафтовій промисловості (бензин, керосин, дизельне паливо, розчинники) широке застосування отримали відцентрово-вихрові насоси, конструктивною особливістю яких є наявність двох ступенів: відцентрового і вихрового [7]. Загалом ці насоси перекачують нейтральні рідини з кінематичною в'язкістю до  $36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , густиною не більше  $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$  з вмістом твердих включень за масою не більше 0,01% і розмірами не більше 0,05 мм. Допустима температура перекачування рідини від  $-15$  до  $105^\circ\text{C}$ .

Відцентрово-вихрові насоси відрізняються високими експлуатаційними показниками, в яких вдало використані переваги відцентрових і вихрових. Відцентрово-вихровий насос (див. рис.4) являє собою блок, який складається з двох насосів — відцентрового і вихрового, зібраних на загальному валу і з'єднаних між собою послідовно по ходу перекачуваної рідини. Насос має осьове підведення рідини, на його всмоктувальній лінії встановлене відцентрове колесо. Потім рідина потрапляє в камеру вихрового, де їй надається високий напір.

Вихрове колесо разом зі вставками являє собою високонапірну ступінь насоса, яка значно підвищує напір насоса.

Відцентрове колесо забезпечує безкавітаційну роботу вихрової ступені. Воно закріплене на валу від осьового переміщення, вихрове колесо — плаваючого типу. Перехід рідини від відцентрового колеса до вихрового відбувається по каналу, виконаному в кришці.

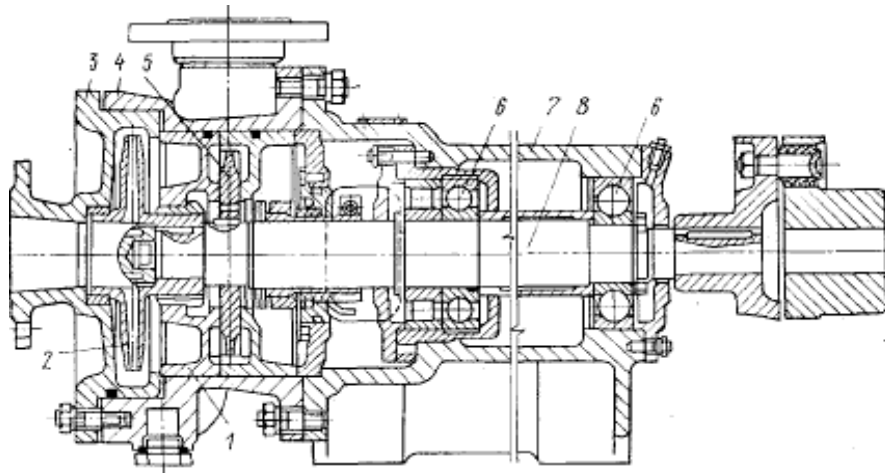


Рисунок 4 - Відцентрово-вихровий насос типу ЦВК:  
 1 — вставки корпусу; 2 — відцентрове колесо; 3—кришка; 4—корпус;  
 5 — вихрове колесо; 6 — підшипники; 7 — кронштейн; 8— вал

Таким чином, в одному насосі об'єднано три важливі якості: забезпечення значної висоти всмоктування, властивої відцентровим насосам, забезпечення високого напору, властивого вихровим насосам, і самовсмоктування, також властиве вихровим насосам.

Заглибніні відцентрово-вихрові насоси мають можливість працювати без зриву параметрів при достатньо високому вмісті газу в газорідних сумішах.

Але ці насоси мають ряд недоліків:

- незадовільна експлуатаційна надійність, обумовлена тим, що радіальний тиск на вихрове робоче колесо має несиметричну епюру, внаслідок чого результуюча поперечна сила навантажує привідний вал напругою змінного знаку, що викликає його прогинання і перекіс вихрового колеса відносно осі насоса;

- значні розміри, що є наслідком суміжного розташування відцентрового і вихрового коліс на привідному валові, приводять до підвищення питомої металоемності насоса.

- значні осьові сили, виникнення яких обумовлене наявністю у відомому диску зовнішніх вихрових каналів, що приводять до утворення додаткового осьового зусилля, до наявного зусилля від різниці епюр тиску в пазухах робочого колеса, що, у свою чергу, викликає інтенсивний знос підпирних шайб;

- низький ККД унаслідок того, що вихрові канали в усьому інтервалі роботи відцентрового колеса знаходяться в режимі «закритої засувки», тобто вони беруть участь тільки в підтримці тиску в камері ступені, при цьому мають місце енергетичні витрати.

#### ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДЦЕНТРОВО-ВИХРОВИХ СТУПЕНЕЙ

Названі недоліки дозволить усунути створена на кафедрі ПГМ Сумського державного університету відцентрово-вихрова ступень, яка, маючи ті самі властивості, що і традиційні відцентрово-вихрові насоси, значною мірою позбавлена їхніх основних недоліків.

Відмінною ознакою даної ступені є те, що робоче колесо (1) (див. рис. 5, 6) забезпечене додатковими вихровими каналами, розташованими з протилежного боку основних каналів. Кожен вихровий канал є вибіркою з увігнутим дном, виконаною по дузі. Далі дуга

переходить на стороні, що взаємодіє з потоком, у прямолінійну площину. Робоче колесо однолопатеве, виконане з поєднанням кільцевих та радіальних каналів.

При роботі відцентрово-вихрової ступені потік робочої рідини потрапляє у всмоктувальну частину (5) робочого колеса (1), де взаємодіє з його лопаттю (6), при цьому енергія обертання робочого колеса перетворюється в енергію тиску. На виході з лопаті рідина надходить в два симетрично розташованих з обох боків робочого колеса кільцеві канали (7), які підводять її до лопаток (8) обох вихрових ступеней. Після взаємодії рідини з передньою і задньою вихровою ступеню (3, 4) тиск значно підвищується, і робоча рідина перетікає у перевідний радіальний канал (9). З нього вона відводиться через кільцевий зазор (10), виконаний між корпусом робочого колеса (2) і задньою вихровою ступеню.

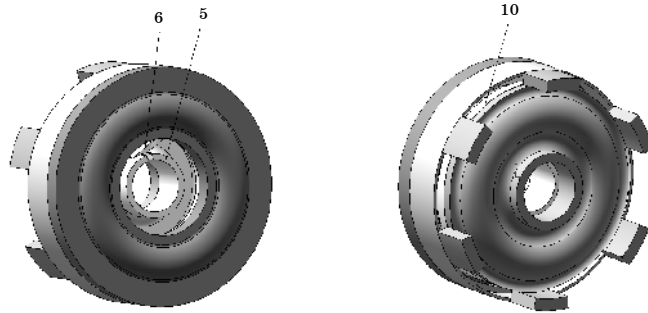


Рисунок 5 - Загальний вигляд ступені

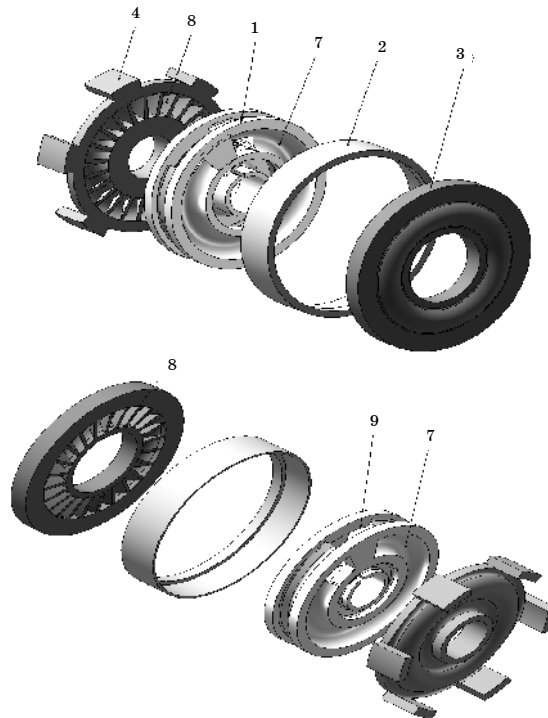


Рисунок 6 - Елементи ступені

Дане конструктивне виконання поєднаної відцентрово-вихрової ступені дозволить:

- підвищити експлуатаційну надійність завдяки тому, що робоче колесо розвантажене як від осьових, так і від радіальних сил, що дозволяє жорстким ущільнювальним кільцям працювати в щадному режимі, тобто вони мають незначне навантаження в цих напрямках;
- підвищити ККД завдяки різкому зниженню перетікання рідини з периферійної зони в центральну, що досягається надійною герметизацією цих зон жорсткими ущільнювальними кільцями, а також завдяки вибіркам каналів вихрової ділянки робочого колеса;
- зменшити металоємність;
- підвищити напір насоса завдяки використанню багатоступеневої конструкції;
- використовувати насоси з відцентрово-вихровими ступенями при перекачуванні газорідних сумішей з великою часткою газової фази.

Одночасно з наведеними перевагами названа ступінь має й недолік – невеликі розміри відвідних каналів ступені не дозволяють перекачувати рідини з великою часткою твердих включень, що може призвести до забивання протічної частини, а в подальшому і до виходу з ладу усього насоса.

### ВИСНОВОК

Насоси з відцентрово-вихровими ступенями належать до значно поширеного технологічного обладнання міжгалузевого призначення. Їхньою перевагою є здатність перекачувати рідини за складом і властивостями текучої середовища з достатньо високим рівнем надійності в роботі як на чистих рідинах, так і на гідросумішах. Досягається це завдяки їхній простоті та компактності. Відцентрово-вихрова ступінь дозволить значно підвищити ККД та експлуатаційну надійність насосів.

Разом з перевагами вона має недолік - невеликі розміри відвідних каналів ступені не дозволяють перекачувати рідини з великою часткою твердих включень. Але це не впливає на якісні показники ступені.

Дослідження впливу в'язкості робочої рідини, а також у подальшому величини газомісту на робочі характеристики динамічних насосів з відцентрово-вихровими ступенями є перспективним та нагальним.

### SUMMARY

*The article presents a review of pump equipment of hydrodynamic principle of action for pumping of high-viscous and multi-phase mixtures, as well as advantages and disadvantages stipulated by some working conditions. Possibilities and prospects of using of centrifugal-vortex stages under these working conditions are considered.*

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антоненко С.С. Изменение напорной и энергетической характеристики высокооборотного динамического насоса под влиянием вязкости перекачиваемой среды: дис... канд. техн. наук. - Сумы, 2003.
2. Михайлов А.К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. - М.: Машиностроение, 1977. - 288 с.
3. Григорьев С.В. Разработка винтового насоса для подачи многофазной рабочей среды / С.В. Григорьев, С.В. Печуров, А.В. Якименко // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. "СИНТ'01". - Воронеж: ООО РИФ "Кварта", 2001. - С. 66-69.
4. Голубев А.И. Лабиринтно-винтовые насосы и уплотнения для агрессивных сред. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1981. - 112 с.
5. Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины / О.В. Байбаков. - М.: Машиностроение, 1981. - 197 с.
6. Колисниченко Э.В. Рабочий процесс динамических насосов нетрадиционных конструктивных схем на газожидкостных смесях: дис... канд. техн. наук. Сумы, 2007.
7. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов / В.М. Черкасский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

*Надійшла до редакції 16 червня 2010 р.*