

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ НАСОСНОГО СТУПЕНЯ ШНЕКОВОГО ТИПУ З РОЗРІЗНИМИ ЛОПАТЯМИ

**О. О. Шепеленко,**

*Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

*У статті описані особливості робочого процесу малогабаритної шнекової ступені підвищеної напірності, до складу якої входить шнекове робоче колесо з розрізними лопатями.*

**Ключові слова:** насос, шнек, напірність, лопатева ґратка, щільнна струмина.

### ВСТУП

Підвищення напору заглибного скважинного насоса для видобутку нафти завжди було, є на даний момент і, напевно, залишиться в найближчому майбутньому одним зі актуальних завдань розробників цього виду обладнання. Ще більше важливості зазначеному питанню надає тенденція, яка спостерігається останнім часом, а саме збіднення легкодоступних запасів та збільшення глибин залягання продуктивних пластів до 2000 м і більше [1]. Довжина насосів, які забезпечують підняття рідини з таких глибин, досягає 40 м [2], що негативно впливає на їх надійність (підвищується ймовірність відмов через більше число елементів, збільшуються навантаження на вали, спостерігається односторонній знос внаслідок кривизни стовбура свердловини та ін.). Також необхідно відмітити, що вартість виконання спуско-підйомних операцій на глибинах близько 1,5 – 2 км досягає вартості всієї насосної установки. В таких умовах збільшення відношення напору ступені до її монтажної довжини (так звана питома напірність) як засіб зменшення довжини насоса набуває першочергового значення.

У ступенях свердловинних насосів відцентрового типу максимальний напір неминуче обмежений можливою різницею радіусів входу та виходу рідини в робоче колесо: перший внаслідок обмеженого діаметра вала (з точки зору міцності); другий – унаслідок обмеження зовнішнього діаметра корпусу насоса для забезпечення його безаварійного спуску в свердловину. Це обмеження відсутнє в малогабаритних ступенях шнекового типу [3-5] у зв'язку з осьовим напрямком течії через протічну частину (радіальні переміщення рідини незначні). Забезпечуючи в рамках умовних габаритів 5, 5А, 6 значення напорів, які можна порівняти з відцентровими ступенями, ці ступені разом із рядом технологічних переваг також дають можливість отримати досить значне (за деякими даними до 1,5-2 разів) підвищення раніше зазначеної питомої напірності за рахунок використання розрізних лопатей [6].

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Відповідно до [6] найбільш доцільним на сьогодні шляхом підвищення напірності малогабаритної шнекової ступені є збільшення кута повороту потоку в ґратці робочого колеса за рахунок використання розрізних лопатей (біпланне шнекове робоче колесо). Таке рішення вже мало певні позитивні результати при застосуванні у літакобудуванні, суднобудуванні та насособудуванні.

Перші ширококомасштабні роботи з керування течією у примежовому шарі були здійснені в авіації при малих швидкостях польоту (злет – посадка), і, на думку автора [7], історичний пріоритет у цій галузі

належить німецьким вченим, які працювали в цьому напрямку з 20-х рр. ХХ ст. Ними ж уперше було використано керування примежовим шаром в осьових компресорах авіаційних двигунів, розроблених в 40-х рр. в Штудгарті [8].

Необхідно відмітити, що в літературі досить часто зустрічаються подвійні тлумачення, і розрізні лопаті називають тандемними, або багаторядними. Найбільш удалим можна вважати термін «розрізні», адже він підкреслює наявність щілини (розрізу), яка формує потік, що керує течією у примежовому шарі. До тандемних, або багаторядних, більш ґрунтовно відносити ґратки, які лише розділяють більшу величину кута відхилення потоку на декілька профілів, які крокують один за іншим (без формування керуючої струмни), збільшуючи тим самим кут відхилення потоку без істотного збільшення втрат, оскільки навантаження на складові профілю знижено. Крім того, багаторядна решітка може в загальному випадку мати різне число лопатей у сусідніх вінцях. Цей розподіл є достатньо умовним, однак необхідним для конкретизації предмета, що розглядається.

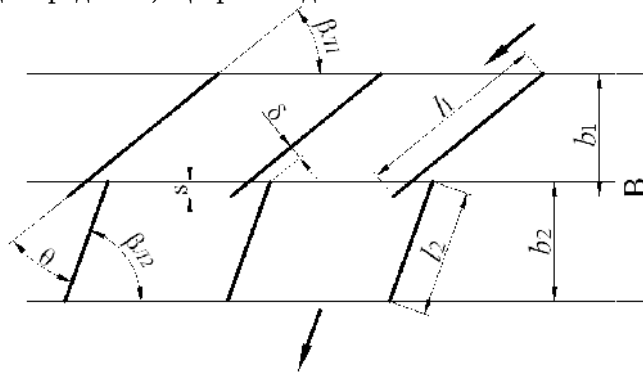


Рисунок 1 – Схема розгортки циліндричного перерізу біпланного шнекового робочого колеса

Шнекове робоче колесо з розрізними лопатями у розгортці - це дві ґратки прямих пластин, розташованих послідовно одна за іншою (рис. 1). Першу ґратку по потоку будемо називати фронтальною, другу – тильною. До основних геометричних параметрів біпланного шнекового робочого колеса можна віднести такі:

- втулкове відношення  $\bar{d}_{em}$ ;
- густоти фронтальної 1 та тильної 2 ґраток;
- кути установки лопатей  $l_1$  та  $l_2$ ;
- різниця кутів установки лопатей ;
- зазор між рядами лопатей ;
- осьове перекриття ґраток  $s$ .

За такої кількості параметрів досить складно аналітичним шляхом визначити міру їх впливу на процеси, що проходять у робочому колесі зазначеного типу. Тому для дослідження робочого процесу шнекового колеса біпланного типу та виявлення його особливостей було вирішено поряд з фізичним експериментом застосувати метод чисельного моделювання за допомогою сучасних програмних продуктів, таких як універсальна версія ANSYS CFX.

При розрахунку густина рідини була взята за сталу величину. Моделювання турбулентних течій здійснювалося за допомогою рівнянь Рейнольдса, для замикання яких використовувався ряд моделей турбулентності (k- $\epsilon$ , SST та ін.). Проведення чисельного експерименту у рамках цього дослідження складалося з кількох етапів: підготовки просторової геометричної моделі, побудови розрахункової сітки та

введення вихідних даних для розрахунку і власне розрахунку. Розрахункова сітка (рис. 2) була створена у програмному продукті ANSYS Workbench, у статорному апараті вона нараховувала 182 тис. комірок, у робочому колесі – 450 тис. комірок. Для належного опису прилежових шарів поблизу твердих стінок у статорному апараті було створено 10 шарів призматичних комірок, у робочому колесі – 12.

У рамках викладеної вище методики чисельного моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS CFX було виконано розрахунок потоку рідини у проточній частині шнекової ступені з робочими колесами біпланного типу. Невелика розбіжність результатів, отриманих у ході проведення фізичного експерименту, з результатами чисельного моделювання (за напором ступені вона не перевищує 2%, за ККД – 4%) дає право вважати отримані картини течії достатньо близькими до реальних.

Як бачимо з рис. 3, потік натікає на фронтальну ґратку під невеликим кутом атаки (до 2°), обтікає лопать без відриву і сходить під кутом, близьким до кута установки лопаті першого ряду. Напір, який вона створює, значною мірою витрачається на подолання сил тертя та лобового опору лопаті. Проте на тильну лопать потік натікає під великим (близько 30°) кутом атаки. Ця лопать створює основний напір біпланного колеса (для традиційного шнекового колеса, спроектованого на максимальну економічність за умов відсутності кавітації, оптимальним вважається кут атаки близько 10°). При таких значеннях кута атаки в традиційних шнеках спостерігається зрив параметрів (западаюча ділянка характеристики), проте в біпланному шнековому робочому колесі значному відриву потоку з тильної сторони напірної лопаті перешкоджає високошвидкісна струмина, яка витікає із зазору між рядами лопатей (рис. 4).

Це дає можливість повернути потік на значно більший кут (до 35°) і, як наслідок, збільшити напір шнекової ступені. Проте подальше збільшення кута установки тильної лопаті супроводжується інтенсивним вихроутворенням (енергії струмини недостатньо для того, щоб притиснути відривну зону до лопаті), і, як наслідок, зменшенням напору і ККД ступені. Як бачимо з результатів чисельного експерименту (рис. 4), швидкість струмини, що витікає із щілини між рядами лопатей, більше ніж удвічі перевищує швидкість основного потоку, що дає їй можливість досить ефективно здувати рідину з низькою енергією з тильної сторони другої частини колеса в достатньо широкому діапазоні подач. Напевно, саме цей аспект дає значне розширення оптимальної зони роботи ступені. Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити оптимальні співвідношення геометричних параметрів біпланного шнекового робочого колеса, при яких можливо отримати значно вищі (до 40 %) значення напорів порівняно з однорядним шнеком при тому самому рівні економічності (ККД не знижується). Наявність на характеристиці широкої ділянки максимального ККД (при будь-яких співвідношеннях геометричних параметрів) також є значною перевагою біпланних робочих органів.

## ВИСНОВКИ

1. Установлено, що напірність шнекової насосної ступені збільшилася порівняно з вихідною на 40 %.

2. Уперше встановлено, що існують такі співвідношення геометричних та гідромеханічних параметрів шнекової насосної ступені з біпланним робочим колесом, які дозволяють не лише підвищити напірність зі збереженням ККД, а й підвищити ККД на 15 % порівняно з базовою.

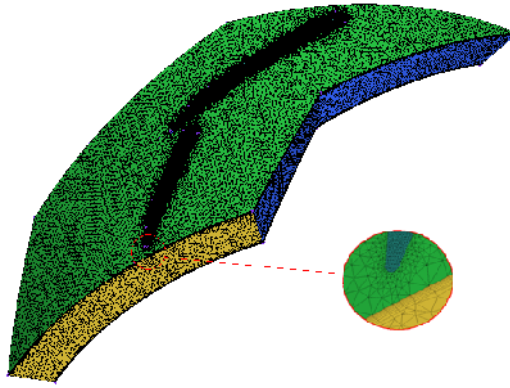


Рисунок 2 – Розрахункова сітка одного каналу робочого колеса

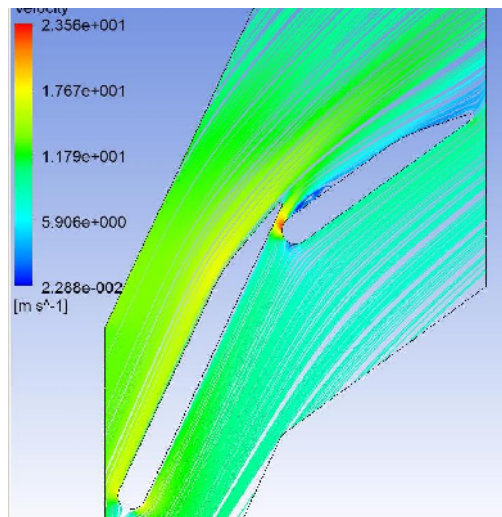


Рисунок 3 - Лінії току в біпланному шнековому робочому колесі. Розгорнуто по діаметру, що відповідає половині висоти лопати

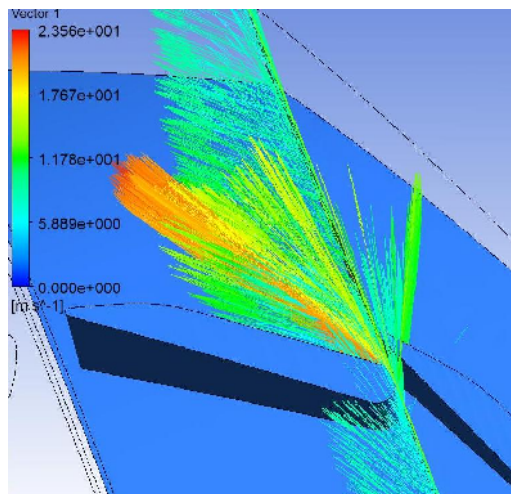


Рисунок 4 – Візуалізація струмини векторами відносної швидкості

3. Установлено, що під час застосування біпланного робочого колеса в здійсненні робочого процесу протічної частини турбомашини, що розглядається, основну роль відіграє поява додаткового гідродинамічного фактора – щільної струмини, яка чинить визначний вплив на геометрію потоку в каналах робочого колеса.

4. У результаті вирішення завдання стосовно методів дослідження встановлено, що є можливим дослідження характеристик шнекової насосної ступені із застосуванням розрахункового експерименту за допомогою програмного продукту ANSYS CFX; можливим є перенесення рекомендацій із близьких за швидкохідністю насосних ступеней, отриманих на багатоступеневих відцентрових насосах із середньорозмірними робочими органами на натурні насоси з малорозмірними робочими органами (типу ЕЦВ та ЕЦН).

5. Узнявши до уваги дані про хорошу роботу насосів зі шнековими ступенями на газорідних сумішах, можна вважати, що заміна робочих органів насосів типу ЕЦН дасть можливість відмовитися від використання газодинамічних сепараторів, але остаточна відповідь на це питання потребує проведення додаткових досліджень.

## SUMMARY

### PECULIARITIES OF A WORKFLOW STAGE OF A SCREW-TYPE PUMP WITH A SPLIT BLADE

*Shepelenko A. A.,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine*

*This article describes the features of a workflow stage of a small-size high-pressure screw-type pump, which includes screw impeller with split blades.*

*Key words: pump, screw, pressure, split blade, slot jet.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. www.neftegaz.ru
2. Каталог ступеней и насосов 2011. - ЗАО «Нововет-Пермь», 2011.
3. Євтушенко А. О. Багатоступеневий занурювальний осьовий насос / А. О. Євтушенко, О. В. Єлін, М. М. Лілак, І. Б. Твердохліб // Промислова власність: Офіційний бюлетень. – 2003. – №4, Книга 1. – С. 4 -112.
4. Елин А. В. Шнековые многоступенчатые насосы: методика расчета, показатели качества: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.17 / Елин А. В. – Сумы, 2002. – 230 с.
5. Каплун І. П. Вдосконалення форми напірної характеристики малогабаритної насосної ступені шнекового типу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.17/ І. П. Каплун. – Суми, 2007.– 20 с.
6. Каплун І. П. Пути повышения напорности малогабаритной шнековой ступени скважинного насоса / И. П. Каплун, А. А. Шепеленко // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля: у 2 ч. – 2007. - №3(109), Ч. 2. - С. 70-75.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: пер. с нем. - М.: Наука, 1969.
8. Гостелю Дж. Аэродинамика решеток турбомашин: пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 392 с., ил.

*Надійшла до редакції 30 березня 2012 г.*