

УДК 532.5:621.65.01

Шудрик О.Л., асп.

НТУ «ХП», м. Харків, Україна

ЧИСЕЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СТУПЕНІ ЗАГЛИБНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ЕВН 5-80

Одним з основних засобів механізованого видобутку нафти є установки із заглибними електропривідними багатоступінчатими відцентровими насосами (ЕВН). Аналіз причин відмов установок з ЕВН показав, що насос є найменш надійним елементом всього комплексу. Основними факторами, що ускладнюють роботу ЕВН у свердловині, є наявність газу, води, відкладення солей і парафіну, механічних домішок, великий діапазон в'язкості продукції, що перекачується. Відхилення від оптимального режиму роботи насоса, при зазначених вище факторах, призводять до зриву подачі продукції, що перекачується, передчасного зносу елементів насоса, вібрацій, заклинювання та ін. технічним проблемам [1].

Чисельне моделювання потоку нафтової продукції в ступені насоса, прогнозування та аналіз інтегральних характеристик ЕВН для різних режимів роботи насоса є актуальним завданням, вирішення якого дозволить підвищити надійність і ефективність роботи всієї насосної установки.

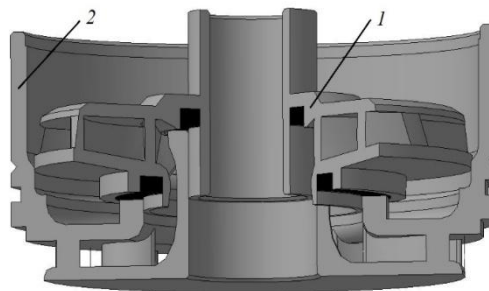


Рис. 1 – Ступінь насоса ЕВН5-80 [2]: 1 – робоче колесо; 2 – направляючий апарат



Математична модель руху рідини в ступені ЕВН. Для математичного моделювання турбулентних течій у проточній частині ЕВН використовуємо систему рівнянь нерозривності і Рейнольдса осередненого турбулентного руху:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u'_i u'_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i, \end{cases}$$

де $i, j=1 \dots 3$ – сумування по однаковим індексам; x_1, x_2, x_3 – осі координат; u_1, u_2, u_3 – осереднені в часі значення швидкостей; u'_1, u'_2, u'_3 – пульсаційні складові швидкостей; f_i виражає дію масових сил.

При використанні k - ε моделі турбулентності система рівнянь руху рідини доповнюється системою диференціальних рівнянь, що описують перенос відповідно кінетичної енергії турбулентності k і швидкості дисипації ε [3].

Чисельна реалізація. Чисельні розрахунки системи виконано з використанням систем інженерного аналізу *ANSYS CFX* [4].

Створення розрахункової області та чисельна реалізація. Для того, щоб імпортувати створену твердотільну модель в «*ANSYS CFX*», треба створити тривимірну модель об'єму рідини, що заповнює ступінь. Після імпорту проводиться визначення розрахункових областей. Перша – робоче колесо, друга – направляючий апарат. В процесі рішення рівнянь шукані параметри течії визначаються у вузлах розрахункової сітки.

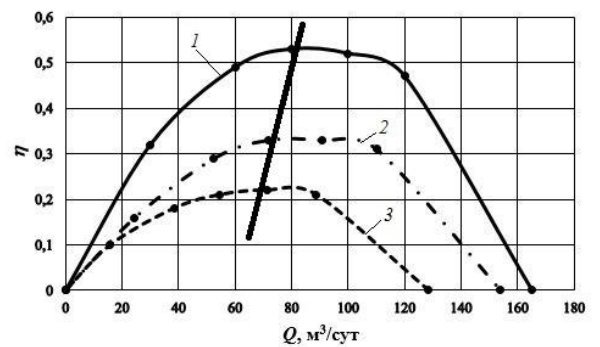
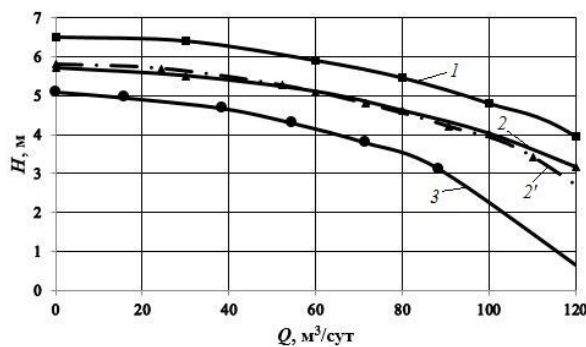
Задання розрахункових та граничних умов. Вказується тип розрахункових областей. Для робочого колеса – «*Rotating*», $n=2910$; для направляючого апарату «*Stationary*». Тип робочого середовища – «*Water*»; модель турбулентності – стандартна k - ε .

На всіх поверхнях моделі повинні бути задані граничні умови.

Результати розрахунків [5]. Для оцінки достовірності використовуваної розрахункової моделі представлено порівняння розрахункової характеристики з

експериментальними даними на воді. При оптимальних значеннях дебіту експериментальна і розрахункова характеристики $H=f(Q)$ збігаються в діапазоні витрат $0,75Q_{\text{опт}} \leq Q \leq 1,25Q_{\text{опт}}$. Максимальна відносна похибка по напору досягає 6,57% - при значенні витрати насоса $1,5Q_{\text{опт}}$.

Для прогнозування характеристик насоса при перекачуванні нафтоводної емульсії (доля води – 56,3%, $\rho=978,9 \text{ кг/м}^3$, $\mu_{\text{oil-w}}=0,02017 \text{ Па}\cdot\text{с}$) та пластової нафти ($\rho=978,9 \text{ кг/м}^3$, $\mu_{\text{oil}}=0,08 \text{ Па}\cdot\text{с}$) проведено чисельні розрахунки (рис. 2а, криві 2, 3). Для порівняння чисельних розрахунків та розрахунків по методиці П.Д. Ляпкова за допомогою дослідних поправочних коефіцієнтів [6] побудована характеристика (рис. 2а, крива 2').



а)

б)

а) – витратно-напірна характеристика; б) – ККД;

1 – вода ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, $\mu_w=0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$); 2 – нафтоводна емульсія (доля води – 56,3%, $\rho=978,9 \text{ кг/м}^3$,

$\mu_{\text{oil-w}}=0,02017 \text{ Па}\cdot\text{с}$) (Ansys CFX); 2' – нафтоводна емульсія

(перерахунок по методиці П.Д. Ляпкова); 3 – пластова нафта ($\rho=978,9 \text{ кг/м}^3$, $\mu_{\text{oil}}=0,08 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Рис. 2 – Порівняльні характеристики насоса ЕВН5-80 при роботі на трьох типах рідини

Висновки. Розглянута математична модель нестисливої рідини та її чисельні розрахунки «Ansys CFX», з достатньою точністю дозволяє прогнозувати



гідродинамічні характеристики ЕВН для робочого діапазону в'язкості продукції в свердловині (від 1мПа·с до 80 мПа·с).

Список літератури:

1. Ивановский В.Н., Дарищев В.И. и др. Скважинные насосные установки для добычи нефти. – М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2002.–824с.
2. ОАО «Борец». URL: <http://borets.ru>
3. Слободкина Ф. А. и др. Течение жидкости в ступени центробежного насоса // Математическое моделирование. Т. 20 № 10. М. 2008. С. 51–623.
4. Хитрых Д. Ansys Turbo: Сквозная технология проектирования лопаточных машин. Ansys Solution: – 2007. – № 6. – С. 31–37.
5. Н.Г. Шевченко, А. Л. Шудрик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 1 – С.
6. Ляпков П.Д. Подбор установки погружного центробежного насоса к скважине. Учебное пособие – М.: МИНГ, 1987.