

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВТРАТ РОЗЧИНУ НА ОБ'ЄМНИЙ ККД РОЗЧИНОНАСОСА ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Розглядається математична модель роботи розчинонасоса і визначається його об'ємний ККД з урахуванням утрат подачі через зворотні витоків та здатність розчину до розширення й стиснення.

Постановка проблеми. Загальна ефективність роботи будь-якої машини не в останню чергу визначається її ККД. У випадку, коли мова йде про розчинонасос, визначну роль відіграє об'ємний ККД. На цей показник впливає декілька факторів, а саме: недозаповнення робочої камери під час усмоктування через розширення розчину під дією розрідження в цій камері, втрати розчину внаслідок його зворотного витікання через клапани при їх спрацюванні на закривання, стисливість розчину при підвищенні тиску в камері під час нагнітання. Недостатня всмоктувальна здатність зумовлена величиною "шкідливого об'єму" всмоктувальної робочої камери, місцевими опорами на шляху просування розчину та спрацюванням ущільнюючих елементів. Остання складова має дуже незначну величину, і при розрахунках нею можна знехтувати. Вплив "шкідливого об'єму" на ефективність роботи розчинонасоса нами вже вивчався [1]. Із вищеведених факторів найбільш суттєвими є зворотні втрати через клапани та стисливість розчину, що ми і врахуємо у математичній моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрахунок зворотних витоків через клапани розчинонасоса розглядався в [2], але він не був прив'язаний до об'ємного ККД. У цій статті ми врахуємо не тільки дію зворотних витоків, а ще й вплив утрат внаслідок неповноти всмоктування через властивість розчину розширюватися та стискатися на величину, котра дорівнює об'ємному ККД розчинонасоса.

Формулювання цілей статті. Основною метою досліджень є визначення об'ємного ККД розчинонасоса з урахуван-

ням факторів, які негативно на нього впливають, зокрема зворотних утрат та розширення і стиснення розчину через наявність у ньому повітря. Розрахунок виконувався за допомогою математичної моделі.

Матеріал і результати досліджень. Математична модель будувалася та досліджувалася у пакеті аналітичних розрахунків **Maple 9.5** (www.maplesoft.com).

Відоме [3] рівняння руху поршня при кривошипно-шатунному приводі

$$X(\varphi) = r \cdot \cos(\varphi) + \sqrt{l^2 - (r \cdot \sin(\varphi))^2}, \quad (1)$$

де $X(\varphi)$ – координата поршня;

r – радіус кривошипа;

l – довжина шатуна;

φ – кут обертання.

Із цього рівняння за допомогою диференціювання [3] отримуємо вираз, завдяки котрому обчислимо швидкість поршня. Помноживши його на площу поршня, одержимо формулу для визначення швидкості зміни об'єму робочої камери

$$V(\varphi) = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \cdot (-\omega \cdot r \cdot \sin(\varphi) - \frac{\omega \cdot r^2 \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\varphi)}{\sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin(\varphi)^2}}), \quad (2)$$

де D_n – діаметр поршня;

ω – кутова швидкість обертання.

Якщо досліджувати швидкість зміни об'єму робочої камери не відносно кута повороту кривошипа φ , а відносно часу роботи, формула буде мати вигляд

$$V(t) = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \cdot (-\omega \cdot r \cdot \sin(\omega t) - \frac{\omega \cdot r^2 \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t)}{\sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin(\omega t)^2}}). \quad (3)$$

У деяких випадках зручніше досліджувати процеси за шкалою зміни часу. Щоб перевести кут повороту кривошипа, при якому розпочинаються чи завершу-

ються зворотні витрати, в час роботи в секундах, необхідно потрібний кут у градусах помножити на вираз $\frac{1}{6 \cdot n}$, де n – частота подвійних ходів поршня за хвилину.

Загальний вигляд кривої швидкості зміни об'єму робочої камери наведений на рисунку 1.

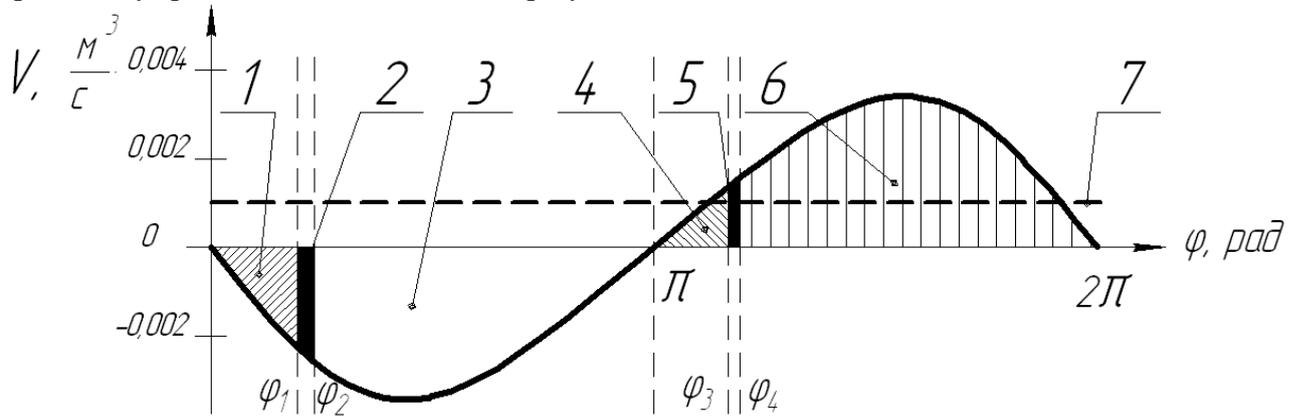


Рисунок 1 – Швидкість зміни об'єму робочої всмоктувальної камери з ділянками витрат розчину:

- 1 – втрати подачі за рахунок витікання через нагнітальний клапан;
- 2 – втрати за рахунок розширення розчину в усмоктувальній камері;
- 3 – такт усмоктування при закритому нагнітальному клапані;
- 4 – зворотні втрати розчину з усмоктувальної камери;
- 5 – втрати через стисливість розчину;
- 6 – дійсна подача розчину в нагнітальну камеру;
- 7 – середній за цикл рівень подачі розчину

При розрахунках були використані дані про кути закриття клапанів [5] та про стисливість розчину [6] для вапняно-піщаного розчину рухомістю 10 см. Кути закриття всмоктувального і нагнітального клапанів відповідно склали 35° та 30°.

Щоб вибрати величину відносного розширення розчину, спочатку треба дізнатися про мінімальний тиск розрідження в такті всмоктування, діаграма якого наведена на рисунку 2 [6].

Як випливає з рисунка 2, мінімальний тиск складає 0,046 МПа.



Рисунок 2 – Діаграма зміни тиску в усмоктувальній робочій камері розчинонасоса

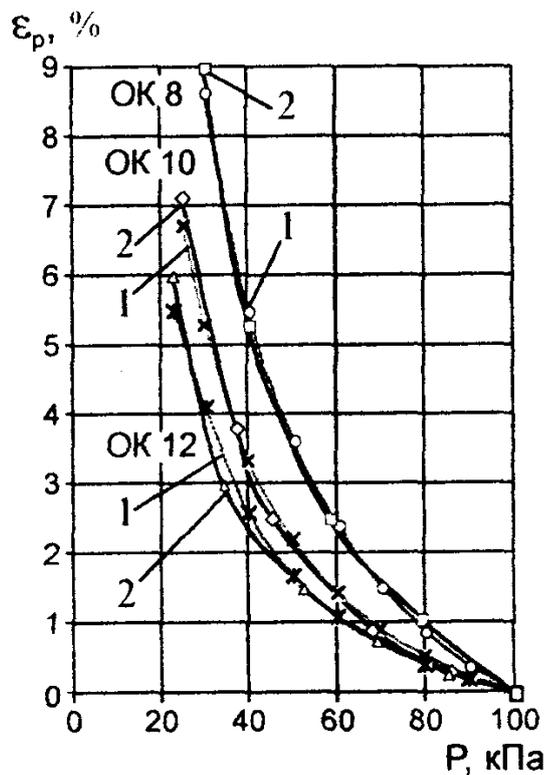


Рисунок 3 – Графік розширення розчину при зменшенні тиску:
1 – теоретична крива; 2 – експериментальна крива

Користуючись цим значенням, із графіка на рисунку 3 [4] знайдемо відносне розширення розчину, котре для нашого випадку складає 2,5% (при рухомості розчину 10 см).

За допомогою програми **Maple** був визначений такий кут повороту кривошипа, при якому об'єм збільшення роз-

чину за рахунок розширення складе 2,5% від об'єму розчину в усмоктувальній камері (беручи до уваги "шкідливий об'єм" $4,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$) без урахування розчину, що пішов на зворотні втрати. Цей кут дорівнює 7° .

На рисунку 4 наведений графік стисливості розчину [4].

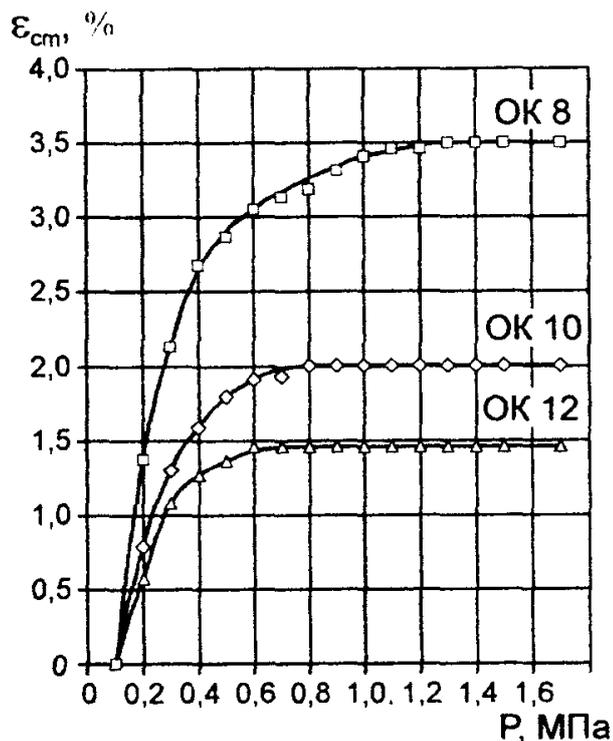


Рисунок 4 – Відносна зміна об'єму розчинів різної рухомості при збільшенні тиску

Ураховуючи те, що найбільш поширеним є штукатурний розчин із рухомістю 10 см, а тиск у робочій камері завжди більший ніж 1 МПа, приймаємо за графіком на рисунку 4 відносне стиснення 2%.

За методом, який був описаний вище, знайдемо відповідний кут повороту кривошипа, але цього разу будемо враховувати тільки "шкідливий об'єм" робочої камери, оскільки стиснутий розчин із робочої камери при потраплянні у трубопровід розшириться до початкового об'єму. Цей кут склав 4,7°.

Проведемо розрахунки потрібних (для обчислення об'ємного ККД) параметрів.

Загальна формула для визначення подачі в циклі з урахуванням утрат

$$Q = \int_{\pi}^{2\pi} V(\varphi) d\varphi - \int_{\pi}^{\varphi_3} V(\varphi) d\varphi - \int_{\varphi_3}^{\varphi_4} V(\varphi) d\varphi + \int_0^{\varphi_1} V(\varphi) d\varphi + \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} V(\varphi) d\varphi, \quad (4)$$

де φ_1 – кут закінчення зворотних утрат розчину за рахунок зворотних витоків через нагнітальний клапан;

φ_2 – кут закінчення втрат подачі через розширення розчину в усмоктувальній камері;

φ_3 – кут закінчення зворотних витрат розчину з усмоктувальної камери через усмоктувальний клапан;

φ_4 – кут закінчення втрат подачі за рахунок стисливості розчину в "шкідливому об'ємі" робочої камери.

У наведену формулу останні два доданки входять із плюсом, оскільки після інтегрування ми отримуємо від'ємні величини.

Вихідні дані для кількісних розрахунків:

$$D_n = 0,1 \text{ м}; \quad r = 0,03 \text{ м}; \quad l = 0,14 \text{ м};$$

$$n = 135 \text{ подв. ходів за хвилину};$$

$$\omega = 14,14 \text{ с}^{-1}; \quad \varphi_1 = 35^\circ; \quad \varphi_2 = \varphi_1 + 7^\circ;$$

$$\varphi_3 = 180 + 30^\circ; \quad \varphi_4 = \varphi_3 + 4,7^\circ.$$

Для визначення теоретичної (без утрат) подачі в циклі застосовуємо формулу, інтегруючи (2),

$$Q_{теор} = \int_{\pi}^{2\pi} V(\varphi) d\varphi. \quad (5)$$

$$\text{Середня подача, } \frac{M^3}{c},$$

$$q = \frac{Q \cdot n}{60}, \quad (6)$$

відповідно теоретична середня подача

$$q_{теор} = \frac{Q_{теор} \cdot n}{60}. \quad (7)$$

Щоб визначити продуктивність розчинонасоса, $\frac{M^3}{год}$, користуємося формулою

$$Pr = n \cdot Q \cdot 60, \quad (8)$$

відповідно теоретична продуктивність

$$Pr_{теор} = n \cdot Q_{теор} \cdot 60. \quad (9)$$

Розрахунок об'ємного ККД, %, проводиться таким чином:

$$KKD = \frac{Pr \cdot 100}{Pr_{теор}}. \quad (10)$$

Після розрахунків маємо

$$Q = 3,66 \cdot 10^{-4} \frac{M^3}{цикл};$$

$$q = 8,23 \cdot 10^{-4} \frac{M^3}{c}; \quad Pr = 2,96 \frac{M^3}{год};$$

$$Pr_{теор} = 3,82 \frac{M^3}{год}; \quad KKD = 77,6\%.$$

Проаналізуємо докладніше доданки, які входять до складу формули (4).

Почнемо зі складової, що відповідає за виток через неповністю закритий нагнітальний клапан у такті всмоктування. Її значення після інтегрування буде від'ємним, тому у формулу (4) вона входить зі знаком "+"

$$\int_0^{\varphi_1} V(\varphi) d\varphi = 2,52 \cdot 10^{-5} (M^3),$$

це складає 10,81% від загальної подачі за цикл.

Щоб визначити втрати за рахунок розширення розчину в такті всмоктування

через наявність у ньому повітря, розглянемо наступний доданок. Його величина теж від'ємна, тому у формулі (4) це враховано знаком "+" перед доданком. Слід зауважити, що розширенню підлягає не тільки той розчин, котрий подається у напірний трубопровід, але і розчин із так званого "шкідливого об'єму"

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} V(\varphi) d\varphi = 2,09 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3 \text{)},$$

це становить 4,44% від об'єму розчину, який теоретично мав бути поданий за один цикл.

Розглянемо витрати, що виникають у такті нагнітання.

По-перше, визначимо величину зворотних утрат за рахунок витоку розчину через неповністю закритий усмоктувальний клапан

$$\int_{\pi}^{\varphi_3} V(\varphi) d\varphi = 2,52 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3 \text{)},$$

від загальної величини подачі за цикл це складає 5,36%.

По-друге, у такті нагнітання розчин, який міститься у всмоктувальній робочій камері, зазнає тиску, під дією котрого відбувається його стиснення, причому враховувати треба тільки стиснення "шкідливого об'єму" розчину, який не потрапляє в подальшому в трубопровід і не набуває початкового об'єму,

$$\int_{\varphi_3}^{\varphi_4} V(\varphi) d\varphi = 8,46 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^3 \text{)},$$

що становить 1,79% від "корисного об'єму" циліндра.

Порівнюючи всі ці складові між собою, ми бачимо, що:

- 1) втрати в циклі всмоктування більші від утрат у циклі нагнітання майже вдвічі;
- 2) втрати за рахунок зворотних витоків більші за втрати через розширення та стиснення розчину.

Для зниження цих утрат можна вжити такі заходи:

- 1) зменшити величину ходу клапанів, що дасть їм змогу швидше закриватися;
- 2) використати підпружинений кла-

пан. Це доцільно робити тільки для нагнітального клапана, через те що підпружинення всмоктувального клапана погіршить усмоктувальну здатність розчинонасоса;

- 3) мінімізувати "шкідливий об'єм" шляхом уведення в усмоктувальну робочу камеру вставки фасонної форми, яка спрямовує рух розчину в бік закривання клапана та сприяє його кращому спрацюванню;
- 4) зменшити переріз сідла клапана. Це треба робити з урахуванням того, що надмірне зменшення даної величини підвищує місцевий опір проходження розчину.

Висновки. Таким чином, ми визначили об'ємний ККД розчинонасоса, користуючись математичною моделлю, яка враховує чотири складові втрат подачі: зворотні втрати розчину через усмоктувальний і нагнітальний клапани та втрати за рахунок властивості розчину розширюватися й стискатися під дією тиску всмоктування і нагнітання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Онищенко О.Г., Уст'янцев В.У., Васильев Є.А. Однопоршневий розчинонасос РН 3,8А з гідравлічним компенсатором пульсації тиску // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. – Вип. 14. – 2004. – С. 3–5.
2. Головкин А. В. Расчёт обратных утечек через клапаны в дифференциальном растворонасосе с качающейся колонкой // Механизация строительства. – 1998. – № 9. – С. 19-21.
3. Кореняко А.С. Теория механизмов и машин. – К.: Вищ. шк., 1976. – 444 с.
4. Коробко Б.О. Дослідження робочих процесів розчинонасоса з комбінованим законом руху проточного плунжера: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02. – Полтава, 2002. – 22 с.
5. Головкин А.В. Дифференциальный растворонасос с шарнирно закрепленной цилиндро-поршневой группой: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02. – Полтава, 1999. – 25 с.
6. Кукоба А.Т. Гідроприводний розчинонасос подвійної дії: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02. – Полтава, 2000. – 20 с.