

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РІВНОВАЖНОЇ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ

Медведський О. В.

кандидат технічних наук, старший викладач

Житомирський національний агроекологічний університет

Коновалов О. В.

старший викладач

Житомирський національний агроекологічний університет

м. Житомир, Україна

Конструкційно-функціональна схема вакуумної системи визначається набором структурних елементів із власними технологічними та геометричними параметрами. Основне завдання класичного розрахунку з вакуумної техніки полягає у встановленні розподілу тиску між елементами заданої вакуумної системи [1]. При цьому приймається допущення існування тільки одного режиму потоку повітря у трубопроводі – стаціонарного [2]. Таке допущення

характерне для розрахунку вакуум-провідної мережі замкненої вакуумної системи. Відхилення від стаціонарного режиму функціонування вакуумної системи може виникати під час появи нештатних процесів. Особливо це відчутно для систем, котрі поєднують декілька технологічних місткостей з різними значеннями початкового (наперед заданого) рівня тиску. В такому випадку важливе значення має характер протікання рівноважного та відновлювального періодів.

Розглянемо відкриту вакуумну систему, структурними елементами якої є вакуумний насос, вакуумна магістраль, вакуумований об'єм (вакуумний балон) та технологічна місткість з регульованим тиском. Характерна особливість заданої вакуумної системи полягає у необхідності періодичного короткотривалого доступу до тиску вищого потенціалу. Ефективне функціонування виконавчих механізмів відкритої вакуумної системи регламентується обмежуючим фактором – допустимою амплітудою коливання тиску у вакуумній мережі. Важливе значення стабільності тиску вакуумної магістралі притаманне для вакуумної системи доїльної установки. Періодичне поєднання вакуумної системи з атмосферним тиском викликає миттєве підвищення рівня тиску, що не відповідає початковій регульованій величині. Значні флуктуації тиску у вакуумній мережі спричиняють зміну режимів роботи виконавчих механізмів, зростає тривалість доїння, знижується повнота видоювання та жирність молока, з'являється небезпека захворюваності корів на мастит [3]. Дослідженнями [4] виявлено позитивний вплив збільшеного об'єму вакуумної мережі на зниження рівня втрат тиску, незалежно від співвідношення об'ємів структурних елементів вакуумної системи та швидкодії вакуумного насоса. Але дослідженням впливу параметрів вакуумної системи, складові якої мають відмінні початкові рівні тисків, на тривалість стабілізаційного періоду не приділялось належної уваги.

Рівноважний період триває від моменту поєднання об'ємів з різними рівнями тисків до моменту встановлення у вакуумній системі спільного для всіх її елементів деякого сукупного тиску (p_s). Сукупний тиск вакуумної системи визначає її рівноважний стан, що настає в наслідок перерозподілу повітря по всьому об'єму та залежить від постійної часу вакуумної мережі τ_1 . Динаміку зміни тиску вакуумної мережі на Δp від початкового рівня (p_p) до сукупного тиску (p_s) опишемо за допомогою диференційного рівняння:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\Delta p}{\tau_1}, \quad (1)$$

де Δp – ступінь збільшення тиску вакуумної мережі, Па;

τ_1 – постійна часу вакуумної мережі, с.

Оскільки $\Delta p = p_s - p_p$, інтегруючи рівняння (1), отримаємо:

$$\ln(p_s - p_p) - \ln C_1 = \frac{1}{\tau_1} \cdot t + C_2. \quad (2)$$

З врахуванням рекомендацій [1], постійна часу τ_1 становитиме:

$$\tau_1 = \frac{V^m}{Q_{pm}}, \quad (3)$$

де Q_{pm} – об'ємна витрата повітря від місткості структурного елемента під тиском вищого потенціалу (p_m) до вакуумної мережі з тиском p_p , м³/с;

V^m – об'єм повітря, що змінить тиск у вакуумній мережі на величину Δp , м³.

За початкових умов, при $t=0$, сукупний тиск визначається тиском вакуумної мережі $p_s=p_p$, постійні інтегрування $C_1=\Delta p$, $C_2=0$. Потенціюючи рівняння (2) та беручи до уваги рівняння (3), розв'язок рівняння (1) набуде вигляду:

$$p_t = p_s - \Delta p \cdot e^{-\frac{Q_{pm} \cdot t}{V^m}}. \quad (4)$$

де p_t – тиск у вакуумній мережі в момент часу t , Па.

p_s – сукупний тиск рівноважного стану вакуумної системи, Па.

Нашими дослідженнями встановлено, що сукупний тиск вакуумної системи залежить від конструкційних та технологічних параметрів її структурних елементів:

$$p_s = \frac{p_m \cdot [V_m + (V_p + V_c) \cdot \sigma + V \cdot \sigma]}{2 \cdot V}, \quad (5)$$

де p_m – початковий тиск у молочній місткості, Па;

σ – співвідношення початкових тисків структурних елементів, $\sigma=p_p/p_m$;

V_p – об'єм вакуумної магістралі, м³;

V_c – об'єм вакуумного балона, м³;

V_m – об'єм молочної місткості, м³;

V – об'єм вакуумної системи ($V=V_m+V_p+V_c$), м³.

На основі результатів попередніх досліджень [5], об'єм повітря для встановлення рівноважного стану системи, можна встановити наступним чином:

$$V^m = \frac{2 \cdot V_{pc} (p_s - p_p)}{p_s}. \quad (6)$$

де V_{pc} – об'єм вакуумної мережі ($V_{pc}=V_p+V_c$), м³.

Об'ємний потік повітря (Q_{pm}) визначається різницею тисків між об'ємами структурних елементів вакуумної системи. Прийmemo потік повітря постійним у будь-якому перерізі вакуумної мережі, тоді враховуючи рівняння Бернуллі та Клапейрона [2], можна записати:

$$Q_{pm} = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_m - p_p) \cdot RT}{p_m}} \cdot S, \quad (7)$$

де S – площа поперечного перерізу вакуум-провідної системи, м²;

R – питома газова стала повітря, Дж/кг×К;

T – абсолютна температура повітря, К.

Таким чином, на динаміку тиску у вакуумній мережі (V_{pc}) суттєвий вплив має її об'єм (рис. 1).

Впродовж рівноважного періоду, від моменту поєднання об'ємів вакуумної системи, початковий тиск вакуумної мережі (p_p) буде збільшуватись до величини сукупного тиску (p_s) за логарифмічним законом (рис. 1). У випадку відсутності вакуумного балона (V_c) сукупний тиск p_s досягається майже миттєво ($t_{min}=0,2$ с) та має найвище значення ($p_s=74,3$ кПа). Зі збільшенням об'єму вакуумного балону знижується сукупний тиск ($p_s=61,16$ кПа), але зростає час його встановлення ($t_{max}=2,2$ с). Це можна пояснити збільшенням у 1,97 рази постійної часу τ_1 через зниження у 1,14 рази об'ємного потоку повітря (Q_{pm}). Причина полягає у зменшенні рушійної різниці тисків (p_s-p_p), при одночасному збільшенні у 1,73 рази об'єму який займає надлишкова маса повітря (V^m). При цьому, об'єм молокозбірника залишається на рівні $0,020$ м³ за об'єму вакуумного балону $V_c=0,010-0,025$ м³ та рівні початкового тиску $p_p=50$ кПа. У випадку інших значень початкового тиску вакуумної мережі (p_p) характер графічних залежностей (рис. 1) не зміниться.

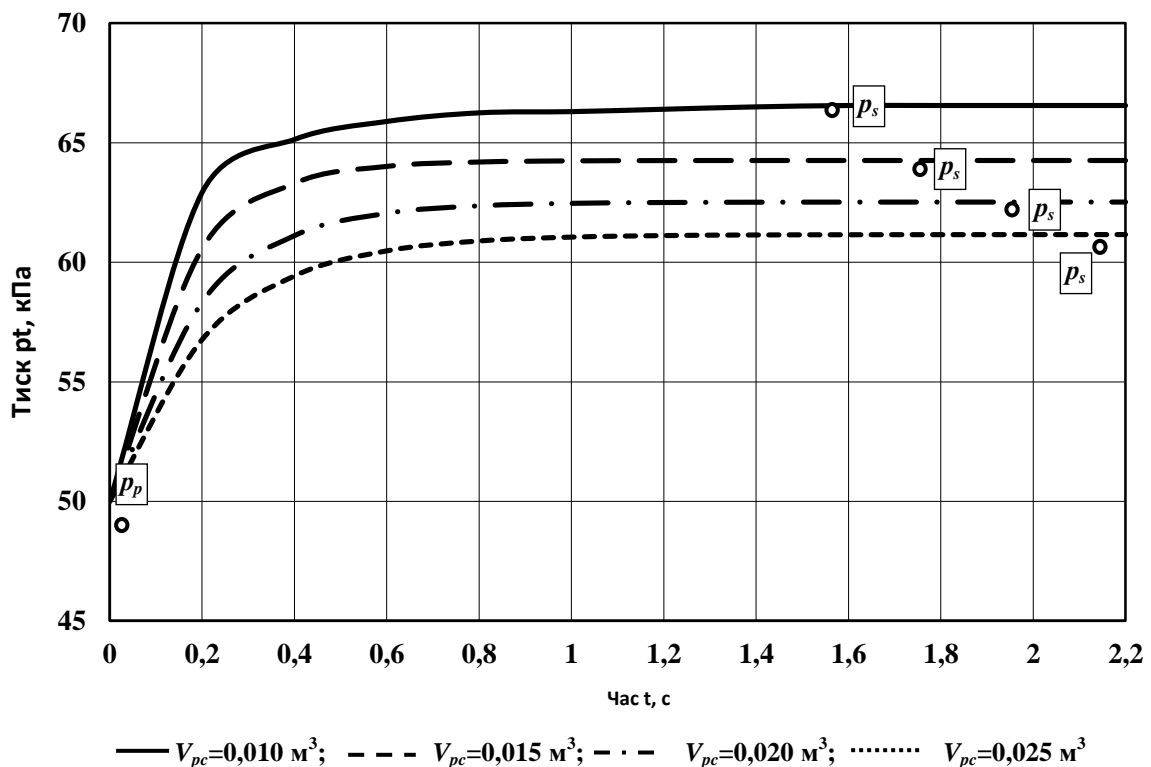


Рис. 1. Динаміка рівноважного тиску вакуумної системи при об'ємі вакуумної мережі (V_{pc}) з початковим тиском $p_p=50$ кПа за умови $V_m=0,020$ м³.

Література:

1. Нестеров С. Б., Васильев Ю. К., Андросов А. В. Методы расчета вакуумных систем. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 220 с.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
3. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика: монографія. – Київ, 2008. – 198 с.
4. Медведский А. В. Влияние конструктивных параметров мобильной доильной установки на уровень вакуумметрического давления // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17, № 3. – P. 250-257.
5. Медведський О. В. Динаміка зміни тиску в об'ємах конструктивних елементів вакуумної системи мобільної доїльної установки // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 161-167.