

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПЛАСТИНЧАСТО-РОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Вознюк М. М., Медведський О. В.

Житомирський національний агроекологічний університет

Виявлено вплив якісних показників функціонування вакуумного насоса на ефективність експлуатації доїльної установки. Найменше уваги, серед всієї множини показників, приділялось проблемі зниження пульсуючих тисків у всмоктувальному патрубку вакуумного насосу. Запропонована конструкція вакуумного насоса двосторонньої дії. Така схема роботи насоса знижує

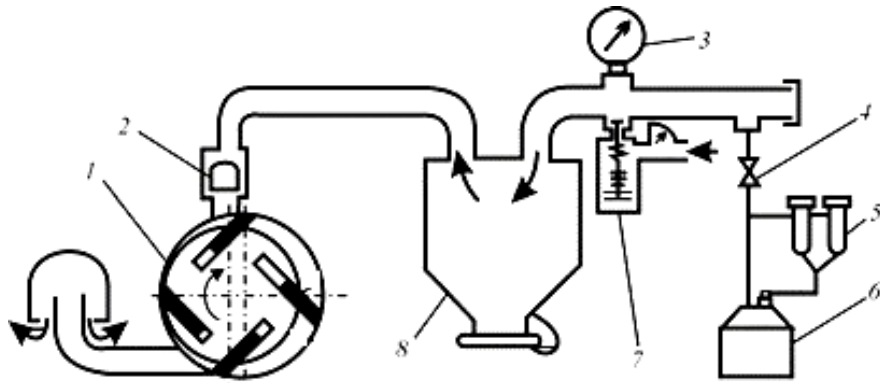
нерівномірність відкачування на 23,4% за рахунок збільшення частоти одночасних дій зміщених на 45⁰ робочих комірок двох суміжних порожнин корпусу. Це позитивно впливає на стабільність розрідження у вакуум-проводі доїльної установки, та надійність роботи доїльного обладнання в цілому.

The influence of high-quality performance of the vacuum pump on the operational efficiency of the milking plant. The least attention among the whole set of indicators was paid to the problem of reducing pulsating pressure in the suction pipe of the vacuum pump. The design of the vacuum pump is double-acting . This scheme reduces the unevenness of the pump suction by 23.4 % due to an increase in the frequency of simultaneous action shifted to 45⁰ working cells of two adjacent body cavity . This has a positive effect on the stability of vacuum in the vacuum milking wire installation and reliable operation of milking equipment in general.

Постановка проблеми. Операція машинного доїння корів у загальній технології виробництва молока є однією із самих складних і відповідальних. Складність процесу обумовлена тим, що в ній задіяно багато ланок – зокрема людина, машина і сама тварина. Від якості виконання окремих елементів операції доїння кожною ланкою та їх взаємодії залежить інтенсивність виявлення рефлексу молоковіддачі, повнота видоювання корів, якість молока, фізіологічний стан молочної залози і продуктивність тварини в цілому за період лактації.

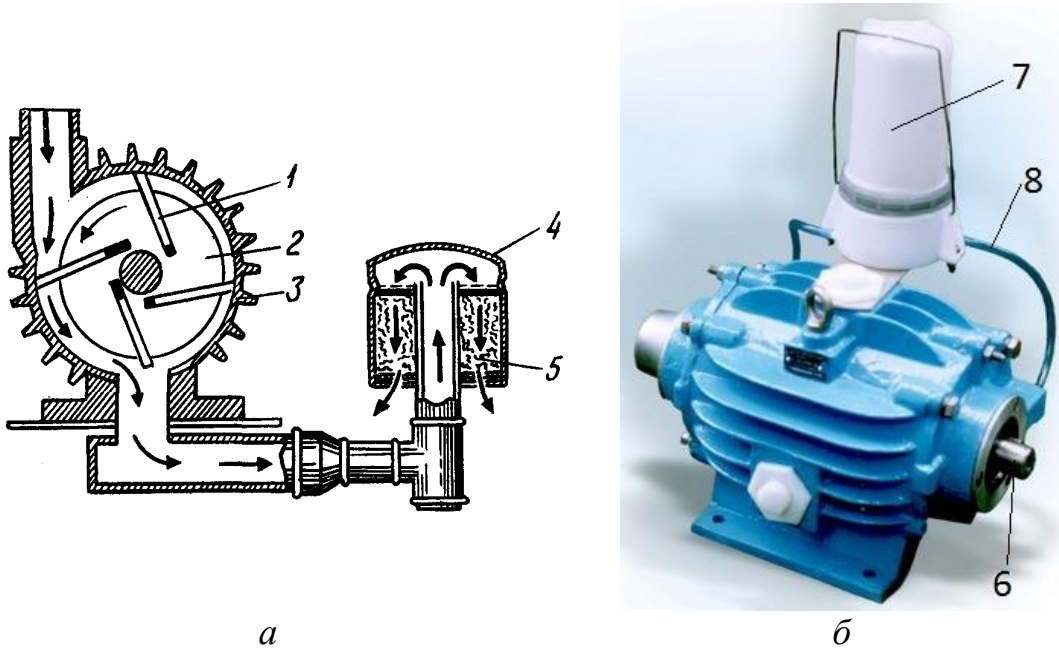
В свою чергу для забезпечення ефективного доїння недостатньо мати бажані технологічні показники доїльних установок, такі як експлуатаційна продуктивність, робочий вакуумметричний тиск, затрати праці, енергомісткість процесу доїння і т.д. Не менш важливим є забезпечення оптимальних режимних характеристик вакуумних систем під час доїння, що є основним завданням вакуумного насоса (рис.1).

Вакуумний насос призначений для створення сталого вакуумметричного тиску у трубопроводах доїльних агрегатів для забезпечення дії доїльних апаратів, транспортування молока та приведення в дію систем автоматики (циркуляційного миття, роздавання кормів тощо).



*Рис. 1. Структурна схема доїльної установки:
1 – вакуумний насос; 2 – зворотний клапан; 3 – вакуумметр;
4 – вакуумний кран; 5 – доїльні стакани; 6 – доїльне відро; 7 –
вакуумний регулятор; 8 – вакуумний балон.*

У складі доїльних установок вітчизняні та іноземні фірми-виробники найчастіше використовують пластинчасто-роторний вакуумний насос (рис. 2).



*Рис. 2. Пластинчасто-роторний вакуумний насос:
а – схема роботи; б – загальний вигляд насоса RVN-40/350: 1 –
пластина; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – глушник; 5 – скловата; 6 –
приводний вал; 7 – масляний бачок; 8 – маслопровід*

Широке поширення насосів даного типу обумовлено простотою будови та обслуговування, швидкохідністю, можливістю безпосереднього з'єднання з електродвигуном, гарною врівноваженістю та малою металомісткістю.

Незважаючи на широке поширення, пластинчасто-роторні вакуумні насоси мають деякі недоліки. Основним серед яких є підвищене нагрівання під час роботи за рахунок тертя лопаток по статору і торцевих кришках насосу, що викликає значні механічні втрати на подолання сил тертя. При цьому знижується ресурс роботи насоса в цілому, навіть за умови наявності належного мащення. Окрім цього, присутній такий недолік як низька стабільність вакуумметричного тиску (пульсуючий тиск), обумовлена принципом дії насоса об'ємного типу та наявністю високих внутрішніх перетікань повітря під час роботи насоса.

Аналіз останніх досліджень. Встановлено, що на молоковіддачу корів має вплив не тільки зовнішнє середовище, а і техніко-експлуатаційний стан доїльної установки [4]. Отже, показники якості роботи доїльних установок залежать від численних факторів системи “людина-машина-тварина”. Ці фактори поділяють на п'ять груп: технічні, технологічні, організаційні, санітарні та показники, які характеризують забезпечення процесу доїння.

За висновками досліджень [4], до основних технічних показників відносять такий показник як якість роботи вакуумної установки: продуктивність; витрата мастила; забезпечення бажаної величини та стабільності вакуумметричного тиску; герметичність системи; електробезпека; шум та інші. В загальній структурі якісного функціонування доїльної установки технічна складова становить 40% від усіх показників вищенаведених п'яти груп [4].

З'ясовано [5], що систематичні коливання вакууму в піддійковому просторі доїльних стаканів зумовлюють скорочення надоїв молока на 9,2% та зниження швидкості доїння на 11,8%. Це пояснюється активізацією в організмі корів специфічних гомостатичних захисних реакцій [5]. Окрім цього, при зниженні швидкості доїння дійки значно довше будуть знаходитись під впливом механічних навантажень, що підвищує ймовірність їх травмування, значно частіше спостерігається виникнення у тварин маститів [1].

Таким чином, основним критерієм оцінки якості функціонування вакуумних систем доїльних установок можна вважати

забезпечення стабільності величини вакуумметричного тиску в системі під час доїння корів.

Розглянемо більш детально вищевикладені моменти підвищення якості функціонування вакуумної установки.

Продуктивність насоса. Для підтримання бажаного вакуумметричного тиску у системі, вакуумний насос повинен мати достатню продуктивність.

Теоретичну продуктивність насоса визначають за залежністю [3]:

$$S_r = z \cdot F_h \cdot L \cdot n, \quad (1)$$

де z – кількість пластин, шт. (рис. 3);

F_h – максимальна площа порожнини між суміжними пластинами за умови повороту ротора на кут $\varphi=0$ (рис. 3);

L – довжина ротора, м;

n – частота обертання ротора, c^{-1} .

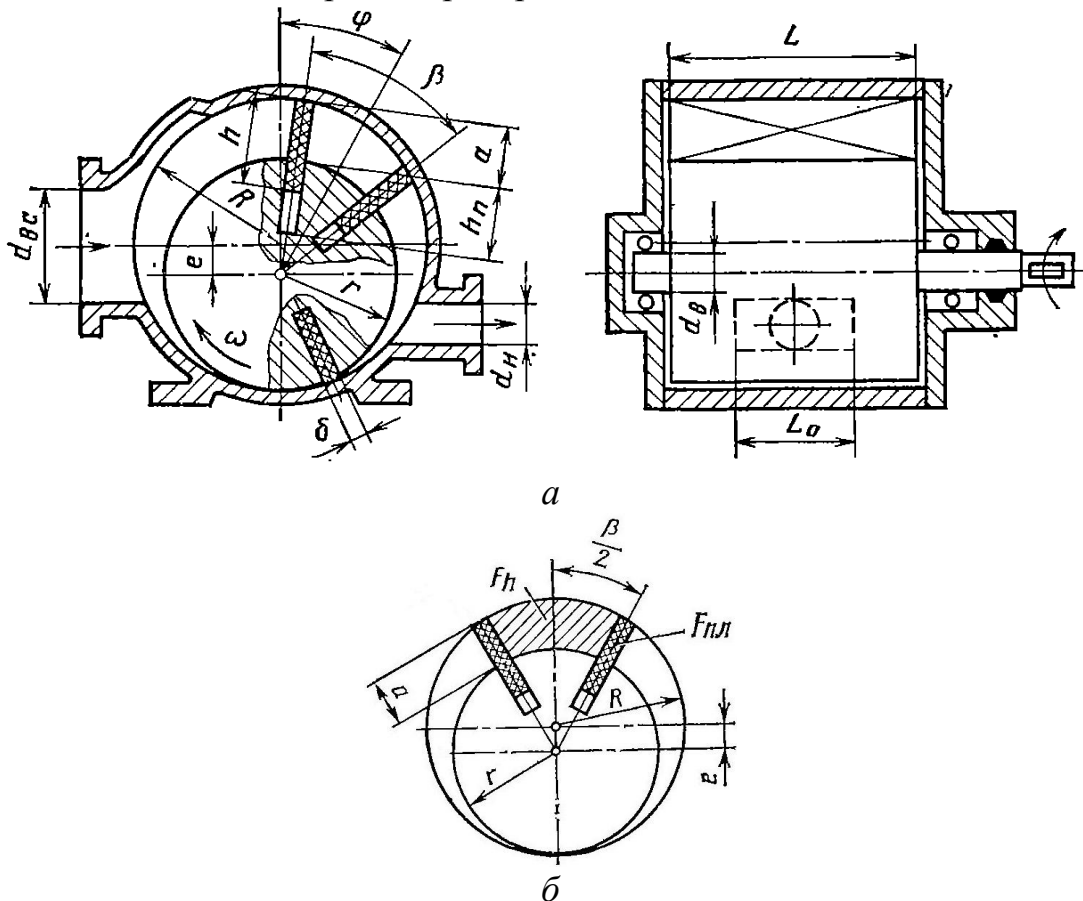


Рис. 3. Розрахункова схема насоса із радіально розміщеними пластинами:

a – конструктивна схема; *б* – положення ротора при максимальній площі перерізу (F_h) між сусідніми пластинами.

Експериментально доведено (відповідно до залежності (1)), що зі збільшенням кількості пластин від $z=2$ до $z=3$ зростає продуктивність насоса на 14,2%, на 4,5% зростає продуктивність при збільшенні кількості пластин від $z=3$ до $z=4$. Подальше збільшення кількості пластин, а, також, збільшення співвідношення ексцентриситету e до радіусу корпусу R (від 0,05 до 0,15) не має суттєвого впливу на його продуктивність. Таким чином встановлено, що геометрична швидкодія насоса прямо пропорційна ексцентриситету та площі торцевого перерізу порожнини максимального розміру (див. рис. 3, б) [3].

Але зі збільшенням кількості пластин на 3-12% зменшується поперечна площа порожнин між пластинами за рахунок їх товщини (менше значення для металевих пластин) та зростають затрати на тертя, що, в цілому, підвищує енергоємність процесу та знижує геометричну швидкодію.

У зв'язку із цим, розроблені рекомендації щодо вибору кількості пластин [3], а фірми-виробники доїльного обладнання зупинились на конструкції насоса з трьома або чотирма пластинами у пазах ротора.

Для доїльних установок найбільшого поширення набули чотирьох пластинчасті вакуумні насоси, оскільки більша кількість пластин сприяє зниженню перетікання повітря між ними в процесі роботи в наслідок зниження перепаду тиску між сусідніми порожнинами ротора (див. рис. 2).

Збільшений ексцентриситет мав би підвищити продуктивність насоса, але його величина обмежена допустимою глибиною паза у роторі (критерій міцності ротора) та міцністю пластини (обумовлена її товщиною). Встановлено, що чим більша різниця між тиском створеним насосом та тиском нагнітання, тим менший має бути вихід пластини a із пазів ротора (див. рис. 3). Тому менше значення ексцентриситету позитивніше впливає на показник надійності насоса.

Розміщення пластин у пазах ротора під кутом $8...15^{\circ}$ до радіуса ротора в сторону його обертання має ряд переваг. Серед яких є збільшення ширини пластини, що покращує її переміщення у пазах ротора та зменшує ефект заклинювання; збільшується термін служби пластин та знижується потужність тертя. В поєднанні даного рішення із пластинами зменшеного

тертя (наприклад, міднографітові) значно підвищує експлуатаційні показники роботи вакуумного насоса [3].

Але сухе тертя має ряд недоліків: підвищене нагрівання; зниження герметичності, що сприяє перетіканню повітря між порожнинами насоса (оскільки мастило виконує функцію часткового охолодження та сприяє герметизації дрібних зазорів). Тому, у високопродуктивних агрегатах така технологія не набула широкого застосування.

Як ми бачимо, основні роботи винахідників та вчених велися в напрямку оптимізації конструктивних параметрів та режимів роботи. Але одному із основних недоліків, а саме значні пульсації тиску у всмоктувальному патрубку, не приділялось належної уваги.

Дослідженнями вчених [5] встановлено, що систематичні коливання вакууму в піддійковому просторі доїльних стаканів в межах 9,7...20 кПа приводить до зниження надоїв корів на 1,9...2,5% і зменшення швидкості доїння на 0,06...1,5 л/хв. При зниженні швидкості доїння дійки корови значно довше будуть знаходитись під впливом механічних навантажень, що підвищує ймовірність їх травмування, у 2...2,5 рази частіше спостерігається у тварин захворювання вимені.

Окрім негативного впливу на організм худоби, нестабільний вакуум призводить до так званого ефекту “балонізації” дійкової гуми, що є причиною “наповзання” доїльних стаканів на дійки вимені. В наслідок цього відбувається гальмування процесу доїння, а втрати молока від недодоювання можуть сягнути 1/4 фактичної продуктивності корови [1].

Мета та задачі досліджень. Виявити резерви підвищення якісних показників роботи пластинчасто-роторного вакуумного насоса шляхом конструктивного удосконалення.

На основі встановлення закономірності зміни об’ємів робочих порожнин оцінити геометричну продуктивність насоса подвійної дії щодо зниження пульсуючих тисків у його впускному патрубку.

Результати досліджень. Отже, резервом підвищення продуктивності та збереження здоров’я тварин є забезпечення стабільного вакуумметричного тиску у вакуум-проводі доїльної установки.

Так як повітря із системи відкачується нерівномірно, оскільки змінюється об'єм всмоктувальної камери залежно від кута повороту ротора вакуумного насоса, тиск у системі буде непостійним (пульсуючим), змінюючи свою величину за законом косинуса.

Ступінь нерівномірності відкачування повітря (δ_n) визначають за емпіричною формулою [2]:

$$\delta_n = \frac{500}{z^2}, \quad (2)$$

де z – кількість пластин, шт.

Таким чином, для вакуумного насоса із чотирма пластинами нерівномірність відкачування складає 31,2%, що є досить суттєвою величиною.

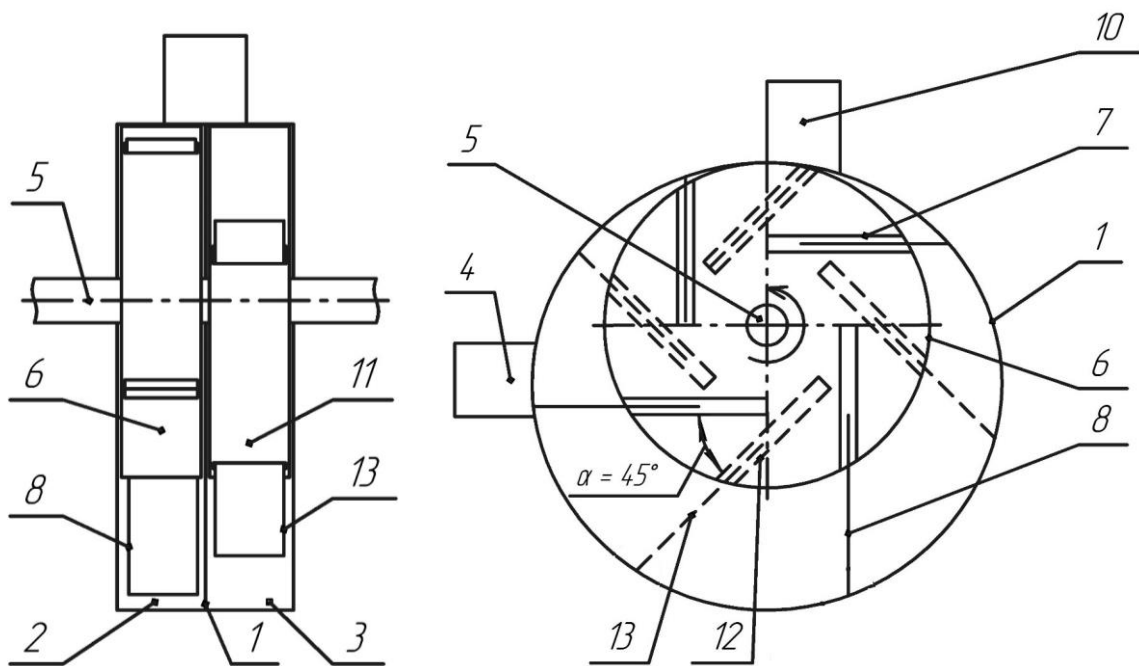
На сучасному етапі розвитку доїльної техніки дана проблема реалізується шляхом використання вакуумного балона певного об'єму (20-25л.) та вакуумного насоса зі збільшеним запасом потужності в поєднанні з гравітаційними або автоматичними регуляторними системами [1].

Нажаль, гравітаційні регулятори тиску не забезпечують оптимальне співвідношення між витратами повітря системою та вакуумметричним тиском під час роботи доїльних апаратів. А використовувати автоматичні системи зміни частоти обертання ротора вакуумного насоса (див. залежність (1)) залежно від тиску у вакуумній системі доїльної установки є фінансово накладно, особливо для малопотужних тваринницьких ферм.

Нами пропонується конструкція пластинчасто-роторного вакуумного насоса двосторонньої дії (рис. 4).

Суть розробки полягає в наступному. Вакуумний пластинчасто-роторний насос складається із циліндричного корпусу 1, який розділений на першу 2 та другу 3 робочі порожнини герметичною перетинкою. Спільний для двох роторів 6 та 11 вал 5, встановлено ексцентрично до циліндричного корпусу 1 з однаковим ексцентриситетом.

Ротори 6 і 11 закріплені співвісно на валу 5 таким чином, що пази для пластин 7 зміщені відносно пазів для пластин 12 на кут $\alpha=45^\circ$ у площині, перпендикулярній до осі обертання роторів.



*Рис. 4. Схема розробленого вакуумного насоса двосторонньої дії:
 1 – герметична перетинка між двома роторами у загальному корпусі; 2, 3 – порожнини роторів у корпусі; 4 – вхідний (всмоктувальний) патрубок корпусу; 5 – спільний вал подвійного ротора; 6, 11 – ротори відповідних порожнин; 7, 12 – пази для пластин у роторах; 8, 13 – пластини роторів; 10 – випускний (нагнітальний) патрубок.*

Впускний патрубок 4 у корпусі насоса розділений навпіл, тобто, кожна з порожнин корпусу має окремий всмоктувальний штуцер, що за паралельною схемою під'єднують до вакуум-проводу доїльної установки. В такому випадку, відповідно до залежності (2), вдвічі збільшена кількість пластин одночасної дії забезпечить нерівномірність відкачування повітря на рівні 7,8%, що на 23,4% менше порівняно із насосом РВН. Вища рівномірність відкачування повітря пояснюється зміщенням у часі (за фазою) робочих циклів комірок другої порожнини 3 відносно робочих циклів комірок першої порожнини 2 корпусу вакуумного насоса.

Кожна комірка (аналогічно до рис. 3, б) утворена внутрішньою поверхнею циліндричного корпусу 1 насоса, зовнішньою поверхнею відповідного ротора та поверхнями двох сусідніх пластин. Об'єм окремо взятої комірки буде поступово збільшуватись (такт всмоктування) впродовж першого напівоберту та поступово зменшуватись (такт стиску та нагнітання) впродовж наступного напівоберту (рис. 5).

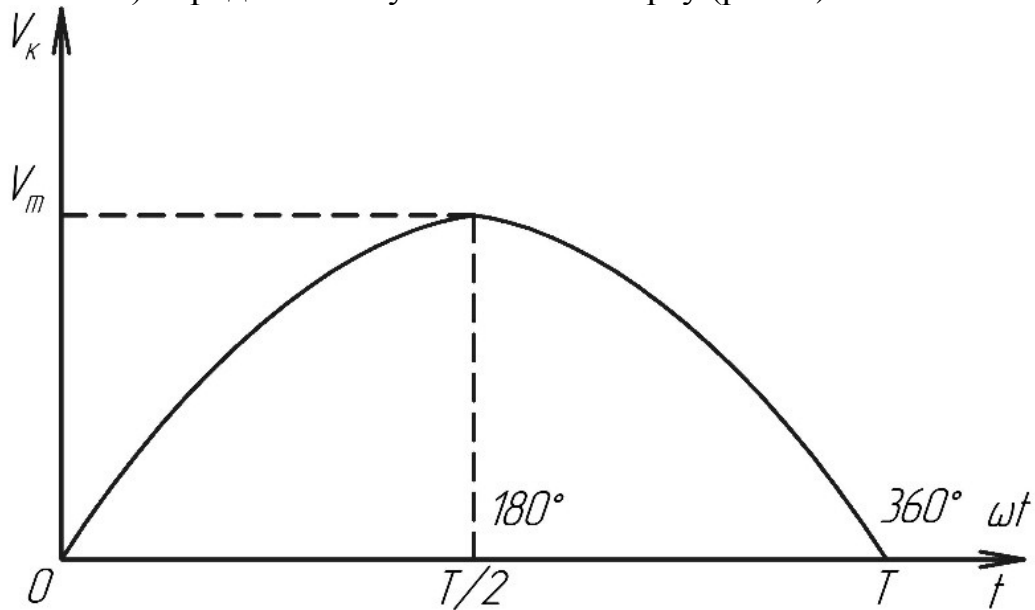


Рис. 5. Зміна об'єму комірки залежно від кута повороту ротора

Отже, максимальний об'єм комірки V_m буде при повороті ротора на кут 180° , тобто, в кінці першого напівперіоду $T/2$.

При обертанні валу 5 насоса такти всмоктування комірок двох порожнин зміщені за фазою на кут 45° , тому, об'єми комірок першої V_{k1} і другої V_{k2} порожнин корпусу насоса будуть змінюватись за синусоїдальним законом:

$$V_{k1} = V_m \sin \omega t \quad (3)$$

$$V_{k2} = V_m \sin (\omega t - 45^\circ) \quad (4)$$

де V_m – максимальний об'єм комірки, м^3 .

Таким чином, за рахунок зміщення за фазою тактів всмоктування комірок двох порожнин корпусу насоса можна отримати більш рівномірне відкачування повітря з вакуумної системи доїльної установки (рис. 6).

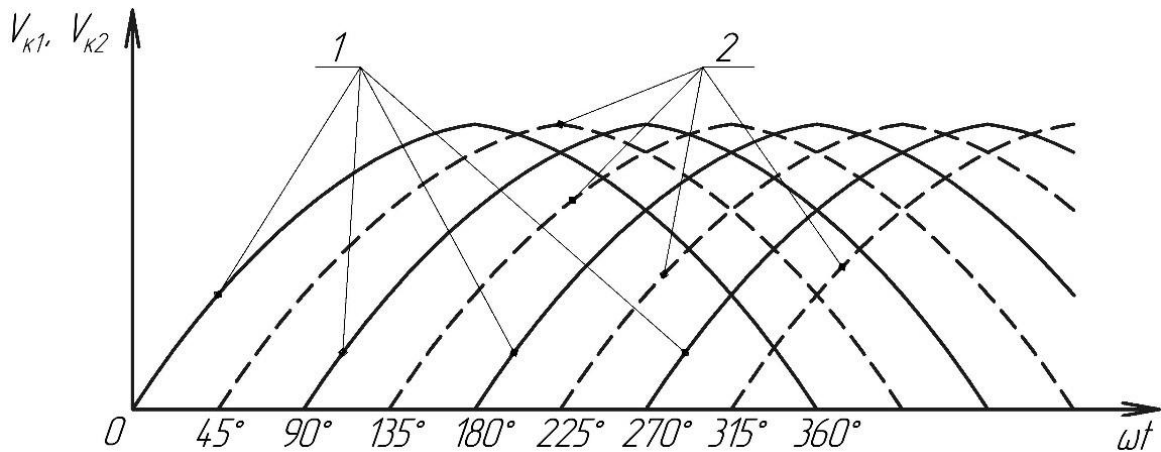


Рис. 6. Графік зміни об'ємів комірок двох порожнин насоса при зміщенні фази всмоктування на 45° залежно від кута повороту вала роторів:

1 – об'єми комірок першої порожнини; 2 – об'єми комірок другої порожнини

В такому випадку знижуються і пульсації тиску у всмоктувальному патрубку насоса, що сприятиме зменшенню об'єму вакуумного балона та об'єму вакуумної системи доїльної установки в цілому. А це може вилитись у значну економію коштів та здешевлення виробленої продукції з одночасним підвищенням якості виконання технологічних операцій машинного доїння корів, виключаючи шкідливі фактори впливу на організм тварин.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Надійність та ефективність використання доїльних установок в значній мірі залежить від якісних показників функціонування вакуумного насоса, як основного енергетичного джерела приводу виконавчих механізмів. Серед всієї множини показників що впливають на якість роботи вакуумного насоса, найменше уваги приділялось вивченню проблеми зниження пульсуючих тисків у всмоктувальному патрубку під час роботи насоса. Оскільки стабільність вакуумметричного тиску впливає не тільки на режими роботи вакуумного обладнання (наприклад, нестійка робота пульсатора), а і на продуктивність та здоров'я тварин, даний недолік потребував детального вивчення та пошуку шляхів вирішення проблеми. Використання додаткових пристроїв,

вакуумного балона та регуляторів тиску, ускладнює систему та не дозволяє вирішити проблему в повній мірі. Тому, основним напрямком у вирішенні ситуації ми вважали удосконалення конструкції самого вакуумного насоса. Запропонована конструкція вакуумного насоса двосторонньої дії. Під час роботи даного насоса нерівномірність відкачування знижується на 23,4% за рахунок збільшення частоти одночасних дій зміщених на 45⁰ робочих комірок двох суміжних порожнин корпусу, що позитивно впливає на стабільність розрідження у вакуум-проводі доїльної установки, та надійність роботи доїльного обладнання в цілому без використання громіздких вакуумних балонів та складних систем регулювання вакуумметричного тиску.

В подальшому, доцільно буде дослідити вплив розмірів всмоктувальних порожнин запропонованого насоса на його продуктивність та енергоємність за умови різних режимів експлуатаційних навантажень.

Список використаних джерел

1. Коновалов О.В. Дослідження автоматичної системи регулювання вакуумметричного тиску доїльних установок / О.В.Коновалов, О.В.Медведський, В.В.Шапіренко // Вісник ЖНАЕУ. – ЖНАЕУ, 2010.– Випуск №2 (27). – С.172-177.
2. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В.Мельников. – Л.: Агропромиздат, 1985. – 640с.
3. Механические вакуумные насосы/[Фролов Е.С., Автономова И.В., Васильев В.И. и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 288с.
4. Москаленко С. Методика комплексної оцінки ефективної експлуатації доїльних установок/ С.Москаленко, С.Ліщинський // Техніка і технології АПК. – 2010. – №8. – С.29-31.
5. Семенов Ю.П. Влияние вакуумного режима на показатели машинного доения / Ю.П.Семенов, И.В.Жилов // Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве / Труды Горьковского СХИ, том 141. – Горький, 1980. – 120 с.