

doi: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-51-57

УДК 629.78:338.43

ДИНАМІКА ВАКУУМЕТРИЧНОГО ТИСКУ МОЛОЧНОЇ КАМЕРИ КОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

О. В. Медведський¹, О. М. Ачкевич², В. І. Ачкевич²

e-mail: aleksmedvedsky@gmail.com, achkevych@gmail.com, achkevychv@gmail.com

¹ Житомирський національний агроєкологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

² Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03040, Україна

Представлені на ринку серійні колектори доїльних апаратів відомих виробників відрізняються за конструкційними параметрами та режимами роботи. Це вказує на пошук раціональної конструкції колектора, що має повною мірою відповідати зоотехнічним вимогам до машинного доїння корів. Проведена оцінка доводить наявність нерозкритих питань щодо рівня вакууметричного тиску у молочній камері колектора доїльного апарата та його вплив на стабільність режимних характеристик. Зокрема це стосується впливу коливань тиску на якісні показники молока та здоров'я вимені корів. Вченими відзначається суттєвий вплив нестабільного вакууметричного тиску на забезпечення бажаних режимних характеристик доїльного апарата та збереження здоров'я корів. Змінна в часі інтенсивність потоку молока викликає диспергування жирових кульок та спінювання молока у гнучкому молокопроводі, що погіршує його технологічні властивості. Доведено вплив конструкційно-геометричних параметрів колектора доїльного апарата на підвищення ефективності технологічного процесу транспортування молока. Встановлено незначний вплив інтенсивності молоковіддачі на рівень вакууметричного тиску у молочній камері колектора в межах фіксованого діаметра гнучкого молокопроводу. Отримана математична модель зміни вакууметричного тиску у молочній камері колектора залежно від діаметра молочного патрубку при заданій інтенсивності молоковіддачі. Змодельовано вплив фіксованого діаметра дротельного отвору на зміну рівня вакууметричного тиску у молочній камері колектора в такті стиснення відповідно до діаметра молочного шланга та інтенсивності молоковіддачі. Введено поняття граничнодопустимої умови вивільнення молочної камери колектора від молока залежно від конструкційно-технологічних особливостей запропонованого двосекційного колектора та режимів роботи доїльного апарата.

Ключові слова: рівень вакууметричного тиску, молочна камера колектора, молочний патрубок, інтенсивність молоковіддачі.

Постановка проблеми

Присутність на ринку різноманітних виконань колектора доїльного апарата вказує на постійний пошук його раціональної конструкційно-технологічної схеми. Деякі конструкційні рішення значно ускладнюють будову колектора для забезпечення безпечних умов транспортування молока до молокопроводу, що викликає підвищення вартості обладнання. При цьому не враховується вплив об'ємної подачі повітря на якісні показники молока та рівень коливання вакууметричного тиску у молочній камері.

Відповідно до досліджень [1], в молочному шлангові під дією інтенсивного неконтрольованого потоку повітря до молочної камери колектора

відбувається диспергування молока. Це призводить до скорочення бактерицидної фази молока, що впливає на термін його зберігання. Молоко у процесі транспортування надмірним потоком повітря збовтується, жирові кульки залишаються на стінках молокопроводу. Внаслідок незадовільних умов транспортування молока втрачається 0,32% молочного жиру [1; 2], що погіршує технологічні властивості молока.

Невирішеним залишається питання встановлення раціонального співвідношення між конструкційними параметрами молочної камери колектора, рівнем вакууметричного тиску та його стабільністю. Потребує узгодження подача повітря до молочної камери, впродовж тактів ссання та стиснення, залежно від інтенсивності молоковід-

дачі. При цьому, слід орієнтуватися на ощадний режим транспортування молока з одночасним забезпеченням транспортуючої різниці тиску.

Тому, досліджень у напрямку встановлення раціональної структурно-функціональної схеми колектора доїльного апарата з метою виявлення раціональних конструкційно-технологічних параметрів та режимів його роботи є актуальним питанням галузі машинного доїння корів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В більшості робіт провідних вчених розглядається питання покращення якісних показників роботи доїльних установок шляхом удосконалення режиму роботи чи конструкції доїльного апарата. В них відзначається, що найбільш важливим показником оцінки роботи є оптимізація конструкційних параметрів та режимних характеристик безпосередньо складових доїльного апарата.

Дослідженнями Фененка А. І. [3, 4] встановлено, що при верхньому розміщенні молокопроводу доїльної установки, за умови використання молочного шланга діаметром 0,014 м, тиск в піддійкових просторах доїльних стаканів по відношенню до молокопроводу збільшується на 3,2–4,8 кПа. При цьому, коливання тиску в піддійкових просторах можуть досягати до 21 кПа в дво-тактних доїльних апаратах, що негативно впливає на якість молока та здоров'я тварини. Вчений стверджує, що за разового надою 8–10 л діаметр молочного патрубку колектора повинен бути в межах 0,010–0,012 м.

В дослідженнях [5] розглядається проблема виникнення періодичних коливань вакуумметричного тиску в молокозбірній камері колектора щодо доїльних установках різних конструкцій. Обґрунтовується вплив коефіцієнта повітровмісту на оптимальний режим транспортування. Вводиться поняття коефіцієнту зміни вакууму K , як оцінки ступеня стабільності роботи доїльного апарата. Так, коефіцієнт K для систем доїння у відро має становити 0,86–0,92, а для системи доїння у верхній молокопровід – 0,7–0,81. За періодичного транспортування молокоповітряної суміші в молокопровід лише протягом такту стиснення цей коефіцієнт, для систем доїння із верхнім молокопроводом, повинен становити 0,93.

Дослідження [6] спрямовані на встановлення коливання вакууму при зміні розмірів молочного патрубку, об'єму колектора доїльного апарата. Також досліджувались режими руху молоко-повітряної суміші в молочному шлангові залежно від молоковіддачі корови. Вказується, що мінімальний об'єм молокозбірної камери колектора має становити 50–60 см³, оскільки, на думку вченого,

подальше збільшення об'єму не дає бажаного ефекту, хоча відзначається, що може створюватися деякий «резерв» вакууму.

Результатами роботи [7] встановлено, що найменше коливання вакууму (від 2,5 до 12 кПа) спостерігається у колекторах збільшеного об'єму (більше 130 мл), за умови швидкості молокоповітряної суміші в шлангові не менше 6 л/хв. При збільшенні швидкості транспортування чи зменшенні діаметра молочного шланга коливання тиску можуть сягати до 25 кПа.

Дослідники [8] вказують, що коливання вакууму у фазі ссання досягає 9 кПа в системі з діаметром шланга 11 мм та робочим вакуумметричним тиском системи 44 кПа. В системі з вакуумом 47 кПа та діаметром шланга 12 мм коливання тиску зменшуються до 6 кПа, а найменше коливання тиску на рівні 4 кПа спостерігається при робочому тиску 44 кПа та діаметрі молочного шланга 12 мм. Коливання тиску у фазі стиску до 15 кПа спостерігається в системі з вакуумом на рівні 47 кПа при використанні молочного шланга діаметром 12 мм. В системі з робочим вакуумом 44 кПа та з діаметром шланга 12 мм коливання тиску сягають 10 кПа.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, виникає потреба в узгодженні конструкційно-технологічних параметрів колектора доїльного апарата з інтенсивністю молоковіддачі для забезпечення оптимального виведення молока до молокопроводу при мінімальному рівні флуктуації вакуумметричного тиску в молокозбірній камері в такті ссання та стиснення при збереженні якісних показників молока.

Мета, завдання та методика досліджень

Мета досліджень спрямована на підвищення ефективності процесу машинного доїння корів шляхом встановлення впливу конструкційних та технологічних параметрів розробленого двосекційного колектора доїльного апарата на рівень вакуумметричного тиску для задоволення умови безпечного транспортування молока до верхнього молокопроводу доїльної установки зі збереженням його технологічних показників якості.

Для досягнення поставленої мети скористаємося методами теоретичних досліджень, котрі базуються на застосуванні теорії математичного моделювання з використанням основних положень інтегрального та диференціального числення, гідрогазодинаміки, теплотехніки та вакуумної техніки (методи класичних наук). Обробка результатів досліджень потребує застосування положень теорії

ймовірності та математичної статистики, використання пакету прикладних програм Statistica 10 і Microsoft Excel 2010.

Об'єктом дослідження є конструкційно-технологічні параметри розробленого двосекційного колектора доїльної апарата та їх вплив на процес транспортування молока, при збереженням його якості, до верхнього молокопроводу доїльної установки.

Результати досліджень

В роботі [9] розглядали конструкцію колектора доїльного апарата, у якого під час такту стиснення до молочної камери надходить повітря через дросельний отвір з тиском розподільної камери. Це дозволяє створити додатковий градієнт тиску, що покращує умови транспортування молока та повного вивільнення молочної камери. При цьому, не розкритим залишається питання встановлення динаміки вакуумметричного тиску впродовж такту стиснення.

Рівень вакуумметричного тиску у секції молокозбірної камери колектора ($p_{вст}$) визначимо за допомогою залежності:

$$p_{вст} = p_{атм} - p_{кст}, \quad (1)$$

де $p_{атм}$ – атмосферний тиск, кПа; $p_{кст}$ – тиск у молочній камері колектора в такті стиснення, кПа.

Транспортування молока гнучким шлангом до молокопроводу доїльної установки відбувається при виконанні умови:

$$p_{кст} \geq p_m + \Delta p_T, \quad (2)$$

де p_m – тиск у молокопроводі доїльної установки, кПа; Δp_T – втрати тиску у молочному шлангові, кПа.

Для забезпечення умови (2), до молокозбірної камери колектора під час такту стиснення надходить повітря з розподільної камери. В такому випадку, тиск у молочній камері колектора є сумою парціальних тисків тиску у кінці такту ссання та тиску об'єму повітря з тиском у розподільній камері колектора, що надходить через дросельний отвір до молочної камери впродовж такту стиснення, тобто:

$$p_{кст} = p_{пн} + p_{пр}, \quad (3)$$

де $p_{пн}$ – парціальний тиск молочної камери колектора, кПа; $p_{пр}$ – парціальний тиск об'єму повітря із розподільної камери, кПа.

З врахуванням досліджень [9], відповідно до рівняння стану газу Клапейрона [10], запишемо:

$$p_{кст} = \frac{p_n V_n + p_p (Q_{П} t_{ст})}{V_k + V_{ш} - V_{ми}}, \quad (4)$$

де p_p – тиск у розподільній камері колектора, кПа; p_n – тиск у молочній камері колектора, кПа; $Q_{П}$ – розрахункова інтенсивність подачі повітря до молочної камери, м³/с; $t_{ст}$ – тривалість такту стиснення, с; V_k – конструкційний об'єм секції молочної камери колектора, м³; V_m – об'єм молочного шланга, м³; $V_{ми}$ – об'єм молока у молочному шлангові, м³.

Характер зміни вакуумметричного тиску у молочній камері колектора у такті стиснення, відповідно до рівнянь (1) та (4), наведено на рис. 1.

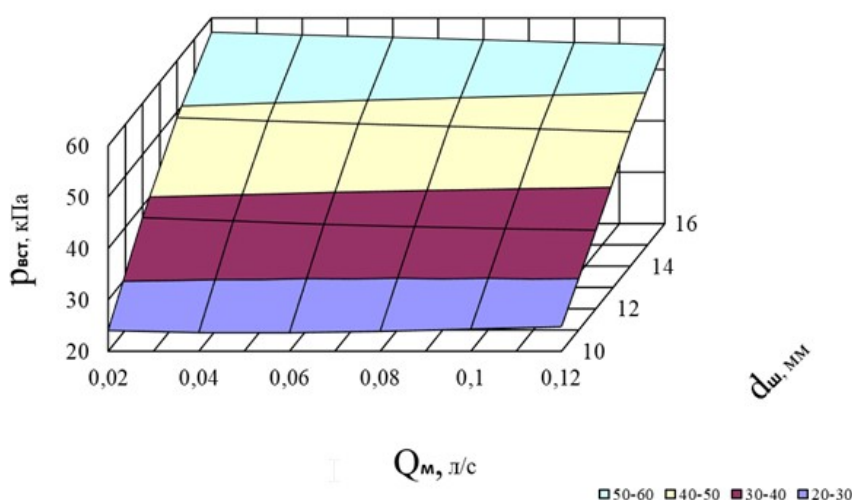


Рис. 1. Залежність рівня вакуумметричного тиску $p_{вст}$ у молочній камері колектора під час такту стиснення від діаметра молочного шланга ($d_{ш}$) та інтенсивності молоковіддачі Q_m . Джерело: власні дослідження

Відповідно до отриманої поверхні на рис. 1, вакуумметричний тиск збільшується при збільшенні діаметра молочного шланга незалежно від інтенсивності молоковіддачі. Це пояснюється збільшенням сукупного об'єму системи колектор-молочний шланг, а також меншими втратами тиску під час транспортування молока до молокопроводу доїльної установки.

Інтенсивність молоковіддачі при незмінному конструкційному об'ємі секції молочної камери колектора не має суттєвого впливу на зміну рівня вакуумметричного тиску. Спостерігається незначне зменшення рівня вакуумметричного тиску на 4,3–6,4 кПа для діаметра молочного шланга 16–12 мм зі збільшенням інтенсивності молоковіддачі, окрім випадку з найменшим діаметром молочного шланга ($d_{ш}=10$ мм).

Змодельємо вплив фіксованого діаметра дросельного отвору на зміну рівня вакуумметричного тиску у молочної камері колектора в такті стиснення відповідно до діаметра молочного шланга та інтенсивності молоковіддачі (рис. 2–3). При цьому, повинні виконуватися наступні умови:

- умова гарантованого транспортування молока молочним шлангом:

$$k_p = \frac{p_{вст}}{p_{с.доп}} \leq 1, \quad (5)$$

де k_p – коефіцієнт співвідношення вакуумметричних тисків; $p_{с.доп}$ – гранично-допустимий вакуумметричний відповідно до умови (2), кПа.

- умова збереження якості молока:

$$Q_{Пр} \leq Q_{Пд} \leq Q_{П.доп}, \quad (6)$$

де $Q_{Пр}$ – розрахункова інтенсивність подачі повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{Пд}$ – інтенсивність подачі повітря адаптована до діаметра молочного шланга, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{П.доп}$ – граничнодопустима інтенсивність подачі повітря, за умови збереження якості молока [3], $\text{м}^3/\text{с}$.

Причиною не виконання умови транспортування може бути низька інтенсивність подачі повітря у зв'язку із недостатнім діаметром дросельного отвору. Це можна пояснити тим, що розрахункова інтенсивність подачі повітря забезпечується відповідним діаметром дросельного отвору, що визначається на основі рівняння нерозривності потоку. Ось чому важливо узгодити виконання обох викладених умов.

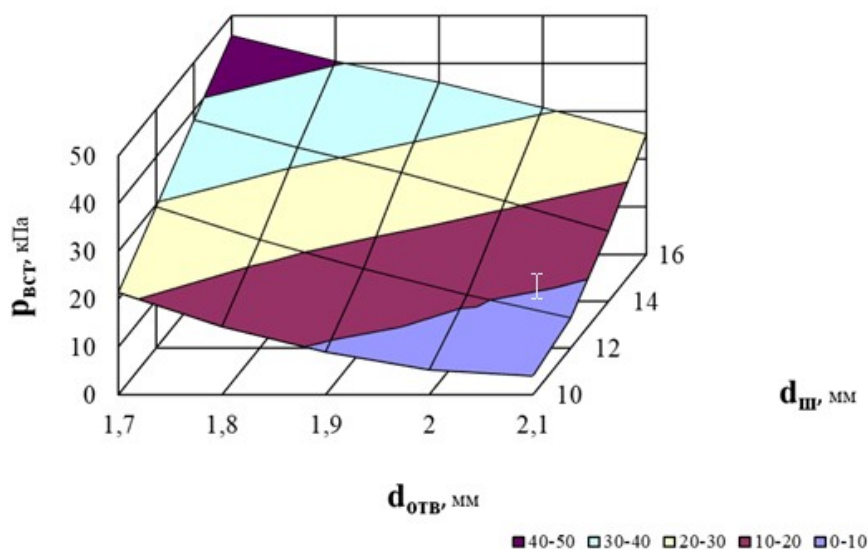


Рис. 2. Залежність вакуумметричного тиску в молокозбірній камері колектора в такті стиснення ($p_{вст}$) від діаметра дросельного отвору ($d_{отв}$) та діаметра молочного шлангу ($d_{ш}$) при молоковіддачі $Q_M=6$ л/хв.

Джерело: власні дослідження.

Результати досліджень

Відповідно до отриманих графічних залежностей (рис. 2), вакуумметричний тиск у молочної камері колектора знижується зі збільшенням діаметра дросельного отвору та зростає при збіль-

шенні діаметра молочного шланга. Це можна пояснити тим, що більшому діаметру молочного шланга відповідає вищий рівень парціального тиску молочної камери колектора за рахунок збільшення вільного від молока простору за незмінної інтенсивності молоковіддачі.

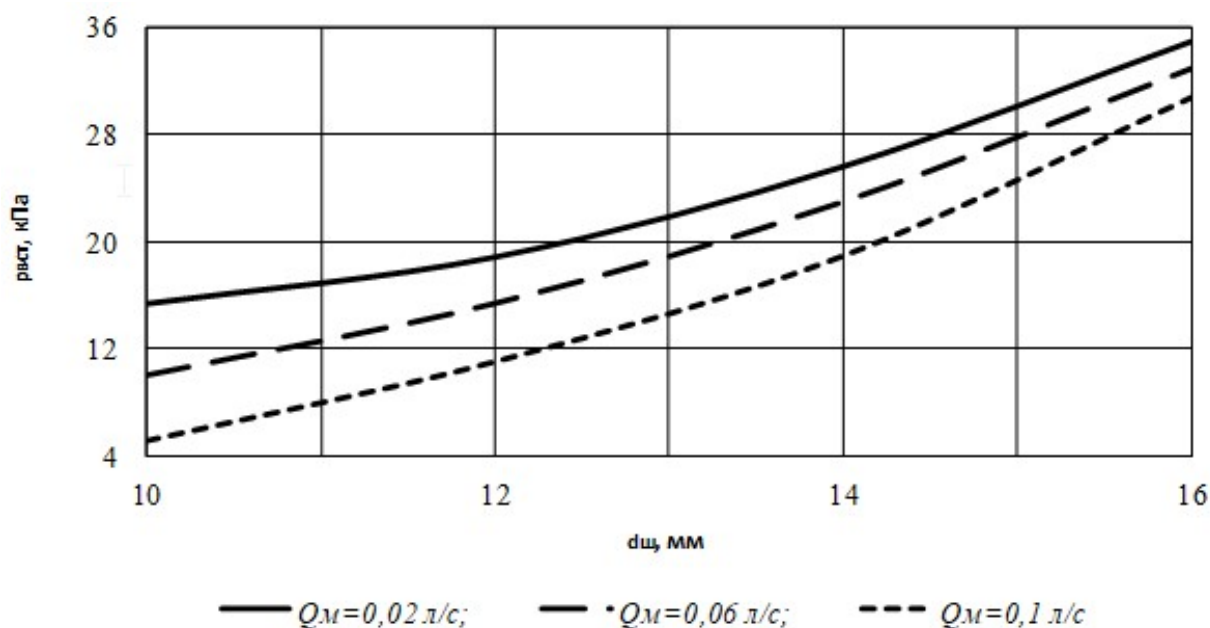


Рис. 3. Залежність вакуумметричного тиску в молокозбірній камері колектора в такті стиснення ($p_{вст}$) від діаметра молочного шланга ($d_{ш}$) при діаметрі дросельного отвору $d_{отв}=2$ мм та змінній інтенсивності молоковіддачі Q_M

Джерело: власні дослідження.

При зростанні інтенсивності молоковіддачі (рис. 3) знижується рівень вакуумметричного тиску незалежно від діаметра молочного шланга. Це можна пояснити зменшенням сукупного об'єму системи колектор-молочний шланг за рахунок збільшення кількості молока у гнучкому молокопроводі. Характер залежностей для досліджуваних діаметрів дросельних отворів має аналогічний характер. Особливість полягає у збільшенні рівня вакуумметричного тиску у такті стиснення при меншому діаметрі дросельного отвору.

Висновки та перспективи подальших досліджень

За умови використання діаметра дросельного отвору в діапазоні 1,5–1,6 мм та діаметрів молочного шланга 14 та 16 мм коефіцієнт співвідношення тисків буде більший за одиницю, а це означає, що не виконується умова гарантованого транспортування молока до молокопроводу доїльної установки. Не виконується умова безпечного транспортування молока при діаметрі дросельного отвору більше за 2,1 мм для діаметрів молочного шланга 10–12 мм та при діаметрі дросельного отвору більше за 2,5 мм для досліджуваного діапазону діаметрів молочного шланга у зв'язку із надмірною подачею

повітря. Діаметр дросельного отвору менше за 1,5 мм не забезпечить бажаного градієнту тиску за високої інтенсивності молоковіддачі для молочного шланга діаметром 10–16 мм.

Таким чином, відповідно до теоретичних розрахунків, діаметр дросельного отвору на рівні 1,7–2,1 мм забезпечує необхідну подачу повітря у встановленому діапазоні діаметрів молочного шланга (10–16 мм) для гарантованого та безпечного транспортування молока до молокопроводу доїльної установки. Подальші дослідження передбачають експериментальну перевірку викладених теоретичних результатів.

Refereces

1. Pali, A. P. (2016). Vplyv molokoprovodnykh system doilnykh ustanovok na spozhyvchi pokaznyky moloka [Influence milking system of milking plants on consumer indicators of milk]. *Tvarynnytstvo Ukrainy*, 9, 20–22 [in Ukrainian].
2. Smoliar, V. (2014). Riven zakhvoriuvano sti koriv na mastyt za vykorystannia riznykh typiv doilnykh ustanovo [The level of garget occurrence in cows when applying different types of milking machines]. *Tekhnika i tekhnolohii APK.*, 1, 17–20 [in Ukrainian].

3. Fenenko, A. I. (2008). Mekhanizatsiia doinnia koriv. Teoriia i praktyka [Mechanization of milking cows. Theory and practice]. Kyiv [in Ukrainian].

4. Fenenko, A. I. & Syrotiuk, V. A. (2006). Rezhymna kharakterystyka kolektora molokoprovi dnoi linii doilnoho aparata [Mode characteristic of the collector of the milk line of the milking machine]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*. Ser. Ahroinzhneryni doslidzhennia, 10, 158–162 [in Ukrainian].

5. Juk, Z. YA. (1975). Issledovanie poter vakuuma na osnovnykh uchastkakh molochnykh liniy doilnykh ustanovok [Study of vacuum losses in the main sections of the milking lines of milking machines]. *Traktory i selhozmashyny*., 3, 31–34 [in Russian].

6. Hozyaev, I. A. (1984). Nauchnyie osnovy i inzhernyye metodyi raschetov nadejnosti selskohozyaystvennykh biotekhnicheskikh sistem «chelovek–mashina–jivotnoe» [Scientific foundations and engineering methods for calculating the reliability of agricultural biotechnical systems “man–machine–animal”] (Avtoreferat dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk). Rostov na Donu [in Russian].

7. Pavlenko, C. I., Aliiev, E. B. & Linyk, Yu. O. (2015). Metodyka eksperymentalnykh doslidzen protsesu peremishchennia molokopovitrianoi sumishi v doilnomu aparati [The method of experimental studies of the process of movement of milk and air mixture in the milking machine]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, 5/2, 167–172 [in Ukrainian].

8. Fenenko, A. I. (2014). Biotekhnicheskaya sistema proizvodstva moloka. Teoriya i praktika [Biotechnical system of milk production. Theory and practice]. Nezhin: Lysenko N. M. [in Russian].

9. Golub, G., Medvedskiy, O., Achkevych, V. & Achkevych, O. (2018). Establishing rational structural-technological parameters of the milking machine collector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 1 (91), 12–17. doi: 10.15587/1729-4061.2018.121537

10. Loytsyanskiy, L. G. (2003). Mehanika jidkosti i gaza [Mechanics of liquid and gas] (7 th ed.). Moskva: Drofa [in Russian].

DYNAMICS OF THE VACUUMMETRIC PRESSURE OF THE DAIRY CHAMBER OF THE COLLECTOR OF MILKING MACHINE

O. Medvedskiy¹, O. Achkevych², V. Achkevych²

e-mail: aleksmedvedsky@gmail.com,

achkevych@gmail.com, achkevychv@gmail.com

¹ Zhytomyr National Agroecological University
Staryi Blvd., 7, Zhytomyr, Ukraine, 10008

² National University of Life and environmental sciences of Ukraine

Heroev Oborony str., 15, Kyiv, Ukraine, 03040

Presented in the market serial collectors of milking machines of known manufacturers differ in design parameters and operating modes. This indicates the search for a rational design of the collector, which must fully meet the zoo-technical requirements for machine milking cows. The performed assessment proves the presence of undisclosed issues regarding the level of vacuum pressure in the milk chamber of the milk manifold collector and its effect on the stability of the regime characteristics. In particular, this concerns the effect of pressure fluctuations on the quality of milk and the health of cow dander. Scientists have a significant impact of unstable vacuum pressure on the desired performance characteristics of the milking machine and the preservation of the health of cows. The time-varying intensity of the flow of milk causes the dispersion of fatty balls and the foaming of milk in a flexible milk line, which worsens its technological properties. The influence of structural and geometric parameters of the collector of the milking machine on increasing the efficiency of the technological process of milk transport is proved. The insignificant influence of milk yield intensity on the level of vacuum-pressure in the milk chamber of the collector within the fixed diameter of the flexible milk pipeline is established. The mathematical model of the change of vacuum pressure in the milk chamber of the collector depending on the diameter of the milk pipe at a given intensity of milk yield is obtained. The influence of the fixed diameter of the throttle on the change in the level of vacuum pressure in the milk chamber of the collector in the compression cycle in accordance with the diameter of the milk hose and the intensity of milk yield are simulated. The concept of the permissible permitted condition for the release of the milk chamber of the collector from milk is introduced, depending on the design and technological features of the proposed two-section collector and the operating modes of the milking machine.

Key words: level of vacuum gauge pressure, milk chamber of collector, milk pipe, intensity of milk yield

**ДИНАМИКА ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО
ДАВЛЕНИЯ МОЛОЧНОЙ КАМЕРЫ
КОЛЛЕКТОРА ДОИЛЬНОГО АППАРАТА****А. В. Медведский¹, О. Н. Ачкевич²,****В. И. Ачкевич²***e-mail: aleksmedvedsky@gmail.com,
achkevych@gmail.com, achkevychv@gmail.com*¹ Житомирский национальный агроэкологический
университет

бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

² Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины

ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03040, Украина

Представленные на рынке серийные коллекторы доильных аппаратов известных производителей отличаются по конструкционным параметрам и режимам работы. Это указывает на поиск рациональной конструкции коллектора, которая должна полностью соответствовать зоотехническим требованиям к машинному доению коров. Проведенная оценка доказывает наличие нераскрытых вопросов относительно уровня вакуумметрического давления в молочной камере коллектора доильного аппарата и его влияние на стабильность режимных характеристик. В частности это касается влияния колебаний давления на качественные показатели молока и здоровье вымени коров. Учеными отмечается существенное влияние нестабильного вакуумметрического давления на обеспечение желаемых режимных характеристик доильного аппарата и сохранения здоровья коров. Переменная во времени

интенсивность потока молока вызывает диспергирование жировых шариков и вспенивание молока в гибком молокопроводе, что ухудшает его технологические свойства. Доказано влияние конструктивно-геометрических параметров коллектора доильного аппарата на повышение эффективности технологического процесса транспортировки молока. Установлено незначительное влияние интенсивности молокоотдачи на уровень вакуумметрического давления в молочной камере коллектора в пределах фиксированного диаметра гибкого молокопровода. Полученная математическая модель изменения вакуумметрического давления в молочной камере коллектора в зависимости от диаметра молочного патрубка при заданной интенсивности молокоотдачи. Смоделировано влияние фиксированного диаметра дроссельного отверстия на изменение уровня вакуумметрического давления в молочной камере коллектора в такте сжатия в соответствии с диаметром молочного шланга и интенсивности молокоотдачи. Предложено понятие предельного условия высвобождения молочной камеры коллектора от молока в зависимости от конструктивно-технологических особенностей разработанного двухсекционного коллектора и режимов работы доильного аппарата.

Ключевые слова: *уровень вакуумметрического давления, молочная камера коллектора, молочный патрубок, интенсивность молокоотдачи.*