

**Дмитрів І.В.**  
**Красниця Б.С.**  
 Національний університет „Львівська  
 політехніка”, м. Львів, Україна;  
 E-mail: Dmytriv\_lhor@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМИКАННЯ ДІЙКОВОЇ ГУМИ АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО СТАКАНА

УДК 681.5

*Дмитрів І.В., Красниця Б.С. «Дослідження змикання дійкової гуми адаптивного доїльного стакана»*

*В статті наведено аналіз результатів досліджень впливу дійкової гуми на діжку вимені корови в процесі доїння. Проаналізовано, що визначення впливу критичного тиску дійкової гуми на діжку лише в такті стиску не дозволяє достатньо повно описати динаміку процесу стиску діжки дійковою гумою. Обґрунтовано необхідність дослідження переміщення стінок дійкової гуми в процесі стиску. Наведено рівняння регресії, що характеризує залежність величини вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  адаптивного доїльного стакана від вакуумметричного тиску  $P_i$  та діаметра перепускного отвору  $d_{пер}$ . Проведено перевірку значимості коефіцієнтів рівняння регресії. Зростання вакуумметричного тиску від 36 до 48 кПа та збільшення діаметрів перепускного отвору підвищує тиск змикання дійкової гуми у значних межах. За вакуумметричного тиску у 36 кПа для всіх значень діаметрів перепускного отвору спостерігається стабілізація тиску змикання дійкової гуми.*

***Ключові слова:** сенсор тиску, генератор імпульсів, вакуумметричний тиск, доїльний стакан, дійкова гума*

*I. Dmytriv, B. Krasnytsia. **Study of the closure of a linear adaptive milking glass***

*The article analyzes the results of studies of the effect of liner on the cow's udder during milking. It is analyzed that the determination of the effect of the critical pressure of the liner on the cow teat only in the compression stroke does not sufficiently describe the dynamics of the process of compression the cow teat of liner. The necessity to study the displacement of the walls of the liner during compression is substantiated. A regression equation to characterize the dependence of the vacuum pressure closing value of the liner  $P_{зм}$  of the adaptive milking glass on the vacuum pressure  $P_i$  and the diameter of the bypass hole  $d_{пер}$  is presented. The significance of the regression equation coefficients was checked. Increasing the vacuum pressure from 36 to 48 kPa and increasing the diameters of the bypass opening increases the pressure of closing the liner within sufficiently large limits. At vacuum pressure at 36 kPa for all values of the diameters of the bypass hole, there is a stabilization of the tire pressure of the liner.*

***Keywords:** pressure sensor, pulse generator, vacuum pressure, milking glass, linear*

### **Вступ, постановка проблеми**

Як відомо, визначальним компонентом автоматизації (роботизації) процесу виробництва молока є технологічний процес машинного доїння корів. Підвищення ефективності технологічного процесу досягається використанням автоматизованих систем доїння із зворотним зв'язком. Використання таких систем уможливило продуктивність від 8 до 10 тис. кг. молока в рік та суттєво підвищити його якість [1, 14].

Унікальність та складність технологічного процесу доїння полягає у безпосередній взаємодії виконавчого органу доїльного апарату із вименем корови [2, 13, 16] де знаходяться основні рефлексогенеруючі ділянки, які відповідають за збудження фізіологічного процесу молоковиведення.

Особливість процесу виведення молока є його обмеженість в часі від 3 до 5 хв. Це накладає вимоги до реалізації технології машинного доїння – динамічна продуктивність доїльного апарату має відповідати молоковіддачі тварини [3, 15].

Обґрунтування раціональних конструкційно-технологічних параметрів доїльного апарату з адаптивним доїльним стаканом дозволить адаптувати технологічні параметри доїльного апарату через адаптивний доїльний стакан до динамічних характеристик

технологічного процесу машинного доїння, системи “машина–тварина”, яка безпосередньо реалізує фізіологічний процес і забезпечує адаптацію режиму роботи доїльного апарата до фізіології молоковіддачі корови. Це дасть змогу підвищити продуктивність складових технологічного процесу та ефективність, унеможливити шкідливий вплив технічної складової на біологічну ланку процесу – корову.

### Аналіз стану питання

Дослідженню впливу дійкової гуми на дійку вимені корови в процесі машинного доїння присвячено багато робіт відомих вчених, зокрема: А. І. Фененка, В. Т. Дмитріва, В. В. Адамчука, Л. П. Карташова, І. Н. Краснова, А. Н. Козлова та ін. [1-8, 12-15]. Проте, більшість дослідників визначали вплив тиску дійкової гуми на дійку лише в такті стиску.

Найменша пружність дійки спостерігається в такті стиску на завершальному етапі молоковіддачі. В цей період часу імовірність травмування дійки максимальна [4-7].

Карташов Л. П. [4] та Краснов І. Н. [5] встановили, що сплюснення дійкової гуми зумовлює травмування внутрішньої порожнини дійки, оскільки деформація відкриває сфінктер дійки. Причина цьому є дійкова гума, яка працює як гнучка циліндрична оболонка із тонкими стінками.

Розглядаючи дійкову гуму, як плоску мембрану, що передає переміщення на дійку із простору атмосферного тиску (міжстінковий простір) у простір розрідження (піддійковий простір), досягнення критичного значення тиску призводить до втрати стійкості, внаслідок чого відбувається деформація, що призводить до „хлопка” та порушення стабільності [8].

Дія зовнішнього тиску розглядалась, як рівномірно розподілене навантаження по бічній поверхні. Проте, критичний тиск не дозволяє достатньо повно описати динаміку стиску дійки дійковою гумою. Тому доцільно дослідити переміщення стінки дійкової гуми в процесі стиску.

Ступінь облягання дійкової гумою дійки залежить від величини переміщення гуми у формі кола. А це у свою чергу впливає на захист дійки від шкідливої дії вакуумметричного тиску та знижує імовірність виникнення маститів у корів [4, 9].

Заслугує уваги метод використання епюри внутрішніх сил та моментів для опису напруженого стану конструкції оболонки, де деформований стан описується за допомогою теорії сферичних оболонок. Отримані дані показують, що у тонкостінних оболонках присутні постійний чи змінний розподіл нормальних напружень [10].

Феодосєв В. І. пропонує для розрахунку тонкостінних оболонок під дією асиметричних навантажень використовувати безмоментну теорію за наступних припущень: нормальні напруження на площах, що паралельні середній поверхні достатньо малі у порівнянні з іншими складовими напружень; сукупність точок розміщених на нормалі проведеної до середньої поверхні деформації, утворює після деформації пряму, нормальну до деформованої середньої поверхні [11].

Застосування безмоментної теорії для визначення напруження можливо у точках оболонки достатньо віддалених від місць: зосередження сил та моментів; жорсткого закріплення оболонки; прикладання пружних та жорстких зв'язків [11].

Залежність зміни пружних властивостей дійки на різних етапах технологічного процесу машинного доїння досліджувались Вальдманом Є. К. [9], Фененком А. І. [7], Карташовим Л. П. [4] та ін.. Отримані результати показують, що в кінці доїння пружність дійки від 6 до 7 разів менша ніж на початку, а це призводить до зміни значення критичного тиску.

Недоліком наведених досліджень є застосування значних припущень без врахування динаміки технологічного процесу.

## Мета роботи

Експериментально дослідити змикання дійкової гуми із застосування планованого експерименту та проаналізувати вплив конструкційно-технологічних параметрів на процес змикання.

## Викладення основного матеріалу

Адаптація технічної системи до фізіологічних особливостей корови не можлива без вибору оптимальних режимів керування цією системою. Одним із важливих технологічних параметрів, як показує проведений аналіз досліджень, є вакуумметричний тиск змикання дійкової гуми.

Експериментальні дослідження вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми адаптивного доїльного стакану проводились на розробленому стенді (рис. 1).

Стенд для експериментальних досліджень складається (рис. 1) з місткості для рідини 11, яка надходить через імітатор інтенсивності молоковіддачі 6 до штучного вимені 13. На штучному вимені розміщений адаптивний доїльний стакан 3. Через колектор 18, калібрований вимірювач молоковіддачі 17, молочний шланг 19 та молочний кран 8 замітник молока потрапляє в молокопровід. Пульсатор 7 розміщений на молочному крані і змінний вакуумметричний тиск по вакуумному шлангу 9 подається до розподільника колектора 18. Для зняття параметрів вакуумметричного тиску використані інтелектуальні сенсори тиску (рис. 1): у міжстінковому просторі доїльного стакану 2; у штучному вимені 4; у піддійковому просторі доїльного стакану 12; у молочному шланзі 16, які живляться від блоку 1.

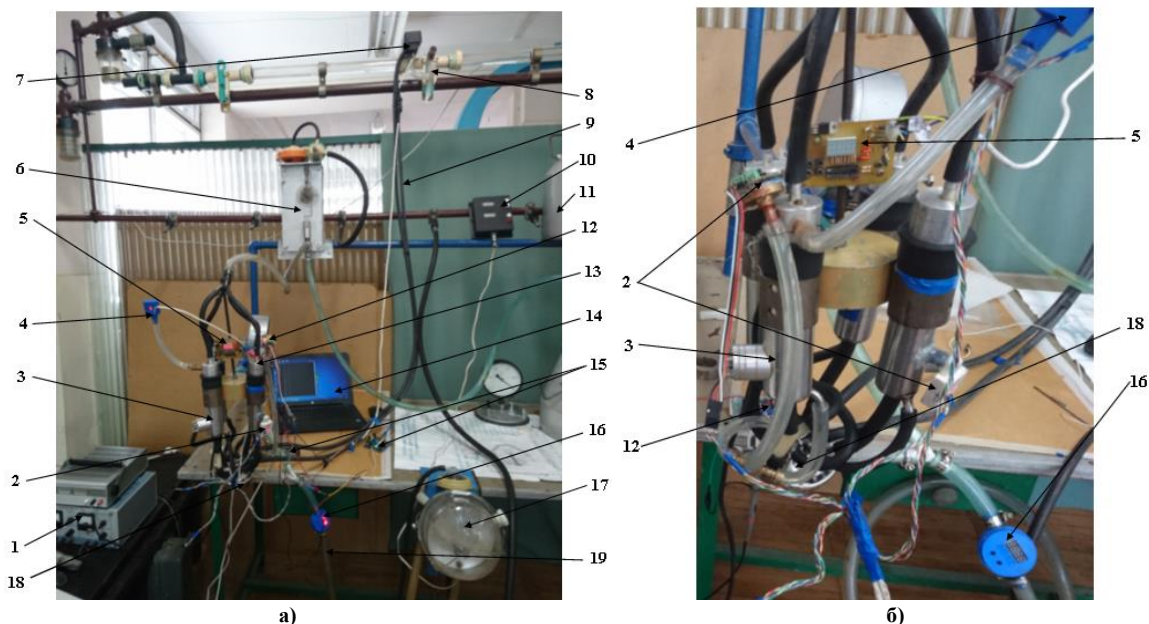


Рис. 1. Стенд для експериментальних досліджень адаптивного доїльного стакану:

а) загальний вигляд; б) розміщення сенсорів тиску; 1 – блоки стабілізованих напруг; 2 - сенсор тиску у міжстінковому просторі доїльного стакану; 3 – адаптивний доїльний стакан; 4 – сенсор тиску у штучному вимені; 5 – електронний блок керування електромагнітним пульсатором; 6 – імітатор інтенсивності молоковіддачі; 7 – пульсатор електромагнітний; 8 – молочний кран; 9 – вакуумний шланг; 10 – електронний блок вимірювача молоковіддачі; 11 – місткість імітатора молока; 12 – сенсор тиску в піддійковому просторі камери доїльного стакану; 13 – штучне вим'я; 14 – система керування (центральный комп'ютер); 15 - система опрацювання даних від сенсорів тиску; 16 – сенсор тиску в молочному шланзі; 17 – калібрувальний вимірювач молоковіддачі; 18 – колектор; 19 – молочний шланг

Інформація від сенсорів надходить до системи опрацювання даних 15, і далі цифровий код подається до системи керування (комп'ютера) 14. Інформація зчитується і обробляється системою керування (комп'ютером) 14 в автоматичному режимі.

В результаті опрацювання експериментальних даних за відомою методикою [12], отримано рівняння регресії (1) у натуральних значеннях, яке характеризує залежність величини вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  адаптивного доїльного стакана від вакуумметричного тиску  $P_i$  та діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$ :

$$P_{зм} = 30,9028 + 2,4594 \cdot P_i - 97,8074 \cdot d_{пер} + 0,7657 \cdot P_i \cdot d_{пер} - 0,0355 \cdot P_i^2 + 20,3148 \cdot d_{пер}^2 \quad (1)$$

Перевірка відтворюваності експерименту проводилась із використанням критерію Кохрена, порівнюючи табличне значення  $G_T$  із розрахованим  $G_p$  [12]. Оскільки розрахункове значення (0,2197) менше табличного (0,4775) досліди відтворювані.

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли за допомогою критерію Стьюдента (t-критерію) [12]. Оцінивши кожен коефіцієнт, усі коефіцієнти вагомі.

Адекватність моделі визначали згідно критерію Фішера (F-критерію). Оскільки виконується умова  $F_p \leq F_T$  – модель адекватна [12].

Графічне зображення залежності тиску змикання дійкової гуми системи „адаптивний доїльний стакан – генератор імпульсів тиску” наведено на рис. 2 і 3.

За вакуумметричного тиску  $P_i = 48$  кПа характер зміни вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  не однаковий (рис. 2). За збільшення діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$  системи „адаптивний доїльний стакан – генератор імпульсів тиску” від 14 до 16,5 мм спостерігається падіння вакуумметричного тиску змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми від 23,55 до 17,5 кПа. У проміжку значень  $d_{пер}$  від 16,5 до 17 мм спостерігається стабілізація значення вакуумметричного тиску змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми на рівні від 17,5 до 17,55 кПа. Подальше зростання діаметру  $d_{пер}$  від 17 до 20 мм збільшує вакуумметричний тиск  $P_{зм}$  від 17,55 до 29 кПа.

За вакуумметричного тиску  $P_i = 42$  кПа (рис. 2) вакуумметричний тиск змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми зростає від 18,78 до 21,6 кПа із збільшенням діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$  від 14 до 17 мм. Подальше збільшення діаметру  $d_{пер}$  від 17 до 20 мм зменшує вакуумметричний тиск змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  від 21,6 до 19,53 кПа.

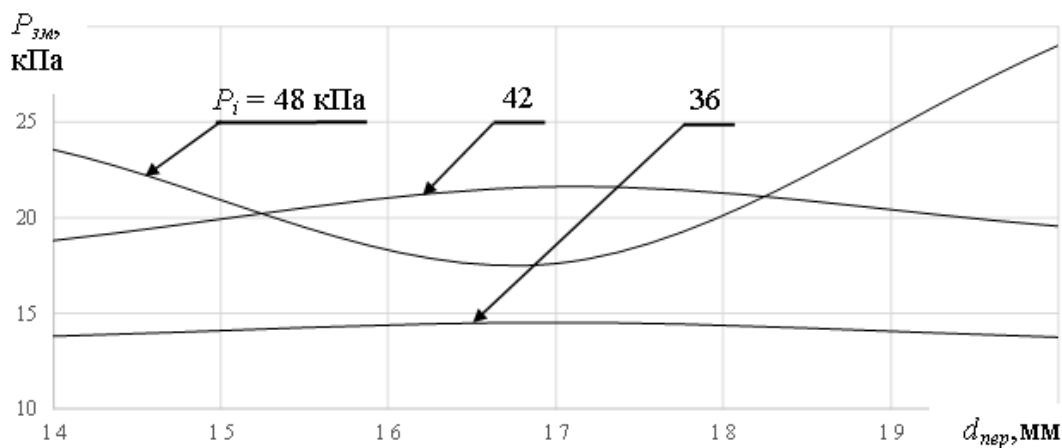


Рис.2. Залежність вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  від діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$  системи „адаптивний доїльний стакан – генератор імпульсів тиску” за вакуумметричному тиску  $P_i$

За вакуумметричного тиску  $P_i = 36$  кПа (рис. 2) вакуумметричний тиск змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми незначно змінюється від 13,72 до 14,51 кПа при збільшенні діаметра перепускного отвору  $d_{пер}$  від 14 до 20 мм.

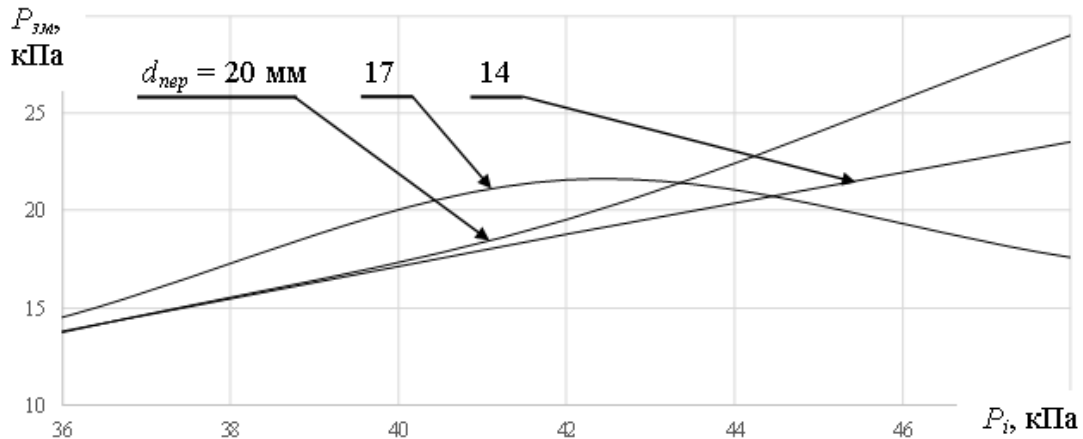


Рис.3. Залежність вакуумметричного тиску змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми від вакуумметричного тиску  $P_i$  за діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$  системи „адаптивний доільний стакан – генератор імпульсів тиску”

Із збільшенням вакуумметричного тиску  $P_i$  від 36 до 48 кПа та діаметру перепускного отвору  $d_{пер} = 14$  мм (рис. 3) тиск змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  зростає від 13,77 до 23,55 кПа, за діаметру  $d_{пер} = 20$  мм тиск змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  зростає від 13,72 до 29,02 кПа. Проте, за діаметру  $d_{пер} = 17$  мм із збільшенням вакуумметричного тиску  $P_i$  від 36 до 42,5 кПа тиск змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  зростає від 14,5 до 21,8 кПа. Подальше збільшення вакуумметричного тиску  $P_i$  від 42,5 до 48 кПа призводить до падіння вакуумметричного тиску змикання дійкової гуми  $P_{зм}$  від 21,8 до 17,59 кПа.

Графічне представлення рівняння регресії у вигляді тривимірної площини, наведено на рис. 4.

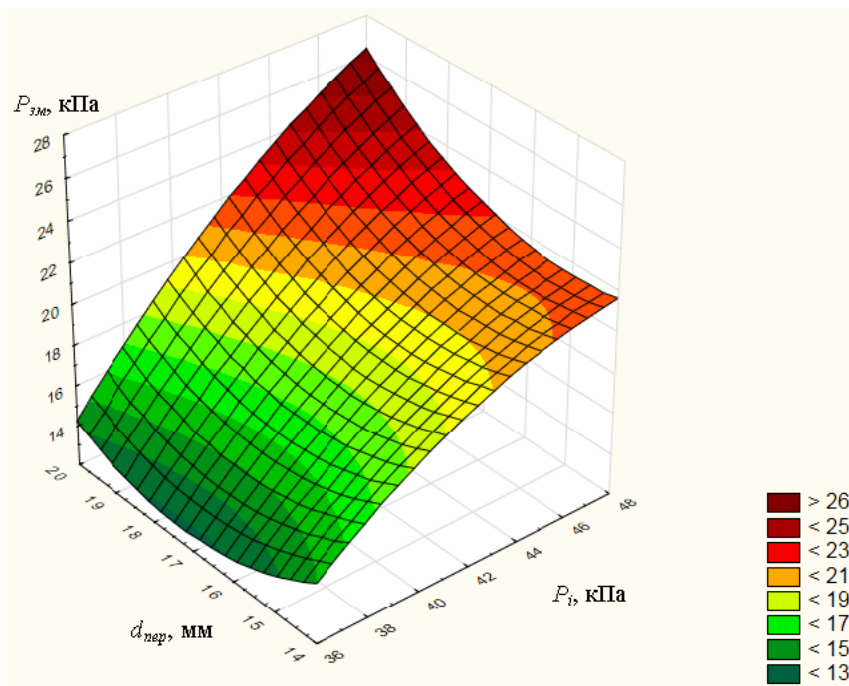


Рис.4. Залежність вакуумметричного тиску змикання  $P_{зм}$  дійкової гуми від діаметру перепускного отвору  $d_{пер}$  системи “адаптивний доільний стакан – генератор імпульсів тиску” та вакуумметричного тиску  $P_i$

Як показує аналіз за діаметрів перепускного отвору  $d_{nep} = 14-20$  мм та вакуумметричному тиску  $P_i = 36-48$  кПа тиск змикання дійкової гуми знаходиться в межах  $P_{зм} = 13,72-29,02$  кПа (рис. 4).

### Висновок

Обґрунтування раціональних конструкційно-технологічних параметрів доїльного апарату з адаптивним доїльним стаканом дозволить адаптувати технологічні параметри доїльного апарату через адаптивний доїльний стакан до динамічних характеристик технологічного процесу машинного доїння, системи “машина–тварина”, що безпосередньо реалізує фізіологічний процес і забезпечує адаптацію режиму роботи доїльного апарату до фізіології молоковіддачі корови.

Аналіз експериментальних досліджень показує, що підвищення вакуумметричного тиску  $P_i$  від 36 до 48 кПа та збільшення діаметру перепускного отвору  $d_{nep}$  збільшує тиск змикання дійкової гуми у достатньо значних межах. Проте, за вакуумметричного тиску в системі  $P_i = 36$  кПа для всіх значень діаметрів перепускного отвору  $d_{nep}$  спостерігається стабілізація тиску змикання дійкової гуми.

### Список використаних джерел

1. Адамчук В.В., Дмитрів В.Т., Дмитрів І.В., Лаврик Ю.М. Адаптивний мікропульсатор автоматизованого доїльного апарату. Теорія та експеримент : монографія. Львів : СПОЛОМ. 2016. 152 с.
2. Адамчук В., Дмитрів В., Дмитрів І. Адаптивный доильный аппарат с пневмоэлектромагнитным пульсатором // *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin – Rzeszow. Vol. 17, № 9. 2015. P. 83-87.
3. Дмитрів В.Т. Механіко-технологічні основи систем доїльних установок. Теорія та практика : монографія. Львів : СПОЛОМ. 2017. 350 с.
4. Карташов Л.П., Соловьев С.А. Повышение надежности системы человек-машина-животное. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 275 с.
5. Краснов И.Н. Доильные аппараты. Ростов н/Д. : Изд-во Ростовского ун-та. 1974. 227 с.
6. Spencer S.B., Rogers G.W. Optimization of milkingmachine liners. *100 Years with Liners and Pulsators in Machine Milking. Int. Dairy Fed., Fed. Int. Laiterie*, Brussels, Belgium. 2004. P. 75–80.
7. Фененко А.І. Механізація доїння корів. Теорія і практика : Монографія. К. : ННЦ «ІМЕСГ». 2008. 198 с.
8. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М.: Гостехиздат. 1956. 419 с.
9. Вальдман Э.К. Физиология машинного доения коров. М.: Колос. 1977. 242 с.
10. Байков В.Н., Хампе Э., Рауэ Э. Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. М.: Стройиздат. 1990. 232 с.
11. Феодосьев В.И. Об одном способе решения нелинейных задач устойчивости деформируемых систем. *Прикладная математика и механика*. М.: Т.27. Вып. 2. 1963. С. 265-275.
12. Дмитрів І.В. Автомобільний транспорт. Теорія і практика наукових досліджень : навч. посібн. Національний університет „Львівська політехніка”. – Львів : СПОЛОМ, 2019. 316 с.

13. Дмитрив І.В. Аналіз режимних характеристик доильних апаратів при машинному доєнні корів // *Механізація і електрифікація сільського господарства* : Межведомственный тематический научный сборник. - Вип. 97. – Глеваха. 2013. С. 576-581.

14. Фененко А.І. Режимні характеристики виконавчих механізмів нового покоління доильних установок. *Механізація і електрифікація сільського господарства* : Межведомственный тематический научный сборник. Вип. 85. Глеваха. 2001. С. 160–163.

15. Викторова Н. Н., Козлов А. Н. Облегченный доильный аппарат с оптимальными параметрами // *Тез.докл. VI Всесоюзного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных*. – Ч. II – М. 1983. С. 9-11.

## References

1. Adamchuk V.V., Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Lavryk Y.M. Adaptivnyi mikropulsator avtomatyzovanoho doilnoho aparata. Teoriia ta eksperyment : monohrafiia. Lviv : SPOLOM. 2016. 152 s.

2. Adamchuk V., Dmytriv V., Dmytriv I. Adaptivnyi doilnyiyy apparat s pnevmoelektromagnitnyim pulsatorom // *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin – Rzeszow. Vol. 17, № 9. 2015. P. 83-87.

3. Dmytriv V.T. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy system doilnykh ustanovok. Teoriia ta praktyka : monohrafiia. Lviv : SPOLOM. 2017. 350 s.

4. Kartashov L.P., Solovev S.A. Povyishenie nadezhnosti sistemyi chelovek-mashina-zhivotnoe. Ekaterinburg: UrO RAN, 2000. 275 s.

5. Krasnov I.N. Doilnyie apparaty. Rostov n/D. : Izd-vo Rostovskogo un-ta. 1974. 227 s.

6. Spencer S.B., Rogers G.W. Optimization of milkingmachine liners. *100 Years with Liners and Pulsators in Machine Milking. Int. Dairy Fed., Fed. Int. Laiterie, Brussels, Belgium*. 2004. P. 75–80.

7. Fenenko A.I. Mekhanizatsiia doinnia koriv. Teoriia i praktyka : Monohrafiia. K. : NNTs «IMESH». 2008. 198 s.

8. Volmir A.S. Gibkie plastinki i obolochki. M.: Gostehizdat. 1956. 419 s.

9. Valdman E.K. Fiziologiya mashinnogo doeniya korov. M.: Kolos. 1977. 242 s.

10. Baykov V.N., Hampe E., Raue E. Proektirovanie zhelezobetonnyih tonkostennyih prostranstvennyih konstruktsiy. M.: Sroyizdat. 1990. 232 s.

11. Feodosev V.I. Ob odnom sposobe resheniya nelineynyih zadach ustoychivosti deformiruemyih sistem. *Prikladnaya matematika i mehanika*. M.: T.27. Vyip. 2. 1963. S. 265-275.

12. Dmytriv I.V. Avtomobilnyi transport. Teoriia i praktyka naukovykh doslidzhen : navch. posibn. Natsionalnyi universytet „Lvivska politekhnikha”. – Lviv : SPOLOM, 2019. 316 s.

13. Dmytriv I.V. Analiz rezhimnyih karakteristik doilnyih apparatov pri mashinnom doenni korov // *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyaystva* : Mezhvedomstvenniy tematicheskiy nauchniy sbornik. - Vip. 97. – Glevaha. 2013. S. 576-581.

14. Fenenko A.I. Rezhimnye karakteristiki ispolnitelnyih mehanizmov novogo pokoleniya doilnyih ustanovok. *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyaystva* : Mezhvedomstvenniy tematicheskiy nauchniy sbornik. Vip. 85. Glevaha. 2001. S. 160 – 163.

15. Viktorova N.N., Kozlov A.N. Oblegchennyiy doilnyiyy apparat s optimalnyimi parametrami // *Тез.докл. VI Всесоюзного симпозиума по машинному доению селскохозяйственных животных*. – Ч. II – М. 1983. С. 9-11.