



УДК 637.12:658.53

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-1

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ ТЕСТЕРА ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК v. 2.0**Алієв Ельчин Бахтияр огли**, д.т.н., старший дослідник, професор

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Яропуд Віталій Миколайович, к.т.н., доцент**Бабин Ігор Анатолійович**, к.т.н., старший викладач

Вінницький національний аграрний університет

Буйницький Олег Ігорович, магістрант

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Yelchin Aliyev, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor

Dnipro State Agrarian and Economic University

Vitalii Yaropud, Ph.D., Associate Professor**Ihor Babyn**, Ph.D., Senior Lecturer

Vinnytsia National Agrarian University

Oleh Buynyts'kyu, Undergraduate

Dnipro State Agrarian and Economic University

Процес діагностики доїльних установок повинен проводитися з використанням вимірних приладів. Вимірні прилади, повинні мати максимальну похибку яка разом із статистичною похибкою вимірювань гарантує те, що за вимогами ISO 5707:2007 дані можуть бути записані з достатньою точністю. Прилади повинні проходити регулярне калібрування, щоб забезпечити необхідну точність вимірювань (ISO 6690:2007).

Розроблено Тестер доїльних установок v. 2.0, який складається з автоматизованої системи керування з можливістю приєднувати додаткові зовнішні датчики (датчики витрат повітря, температури і Холла), двох вбудованих датчиків тиску (на базі MPX 5100DP) і елементів живлення. Автоматизована система керування виконана на базі апаратної платформи Arduino Mega 2560 з клавіатурою керування і графічним дисплеєм 3.2" 320×480 TFT LCD. Метою досліджень є проведення калібрування експериментального зразка Тестера доїльних установок v. 2.0 і визначення точності вимірювань тиску і часових показників його пульсацій в заданих діапазонах вимірювань, а також уточнення калібрувальних коефіцієнтів. В результаті калібрування датчика тиску, що входить до складу Тестера доїльних установок v. 2.0, було встановлено наступне: калібрувальна характеристика датчика є лінійною в дослідженому діапазоні тисків (4,75-62,00 кПа); рівняння, яким описується калібрувальна характеристика, збігається з рівнянням, наведеним в технічній документації на датчик; похибка вимірювання тиску у вказаному діапазоні становить близько 1 кПа; за результатами калібрування немає підстав вважати, що датчику тиску властивий ефект гістерезису. Результати калібрування вимірювача пульсацій вакуумметричного тиску показали, що визначення тривалості фаз імпульсів характеризується роздільною здатністю 19,70 мс і похибкою вимірювання ± 31 мс в діапазоні частот пульсацій 37,3-131,0 імн/хв. Величина цієї похибки не залежить від частоти пульсацій у вказаному діапазоні.

Ключові слова: доїльні установки, параметри, тестер, калібрування, вакуумметричний тиск, пульсації.

Ф. 5. Табл. 2. Рис. 4. Літ. 8.

1. Вступ

Своєчасне технічне обслуговування доїльних установок є однією з умов виходу українських виробників молока на світовий ринок, а також інтеграції до вимог Європейського Союзу. Незважаючи на досить високий рівень розвитку доїльної техніки і молочного обладнання, для комплектацій сучасних потокових ліній доїння якість цього сервісу залишається незадовільною. Це пов'язано з тим, що молочні господарства не мають можливості постійно проводити планову перевірку своїх доїльних установок, що призводить до відхилення від нормальної роботи [1]. Доїння тварин – це складний процес функціонування біотехнічної системи «людина – машина – тварина».



Машинна ланка системи має відповідати фізіологічним потребам тварин і забезпечувати: повноцінне стимулювання рефлексу молоковіддачі; якісне видоювання корів із певною періодичністю; убезпечення молочної залози та організму тварини від шкідливого впливу машини; одержання молока високої якості. Це є можливим лише за умови підтримання доїльного обладнання в дієздатному стані, за якого коефіцієнт готовності має бути не менше 0,98 [2].

Наведені факти надають проблемі підвищення надійності доїльних установок важливе значення і вимагають невідкладного її вирішення. Цю проблему можна вирішити завдяки впровадженню тестера доїльних установок [3, 4].

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Процес діагностики доїльних установок повинен проводитися з використанням вимірювальних приладів. Вимірювальні прилади, повинні мати максимальну похибку яка разом із статистичною похибкою вимірювань гарантує те, що за вимогами ISO 5707:2007 [5] дані можуть бути записані з достатньою точністю. Прилади повинні проходити регулярне калібрування, щоб забезпечити необхідну точність вимірювань (ISO 6690:2007 [6]).

Вимірювальні прилади повинні підключатися до відповідних точок підключення доїльної установки: A1, A2, Aclaw, Ap, Vm, Vr, Vp, Vpuls і Pe, які вказані в ISO 5707:2007 [7].

Прилад, який використовується для вимірювання вакууму має бути в змозі виміряти вакууметричний тиск у межах від 0 до 100 кПа з похибкою не більше $\pm 0,6$ кПа і відтворюваністю в межах $\pm 0,2$ кПа. Вакуумметр класу точності 1,0, як правило, відповідає цим вимогам, якщо він відкалібрований. Клас точності визначається як максимально допустима похибка, виражена у відсотках від діапазону тиску.

Прилад, який використовується для динамічного вимірювання вакууму повинен відповідати мінімальним вимогам, вказаним в таблиці 1. Якщо частота дискретизації вища, ніж мінімальна наведена в таблиці 1, то повинна застосовуватися фільтрація. Фільтрація частоти має бути не більше 50 % від частоти вимірювання і приблизно дорівнювати частоті очікуваного сигналу, призначеного для захоплення.

Таблиця 1

Мінімальна частота дискретизації і швидкість реакування відповіді від приладу

Номер тесту	Тип тесту	Мінімальна частота дискретизації, Гц	Мінімальна швидкість відповіді, кПа/с
1	Тести в молокозбірнику і в сухих частинах доїльної установки	24	100
2	Тести пульсації	100	1000
3	Тести під час доїння в молокопроводі	48	1000
4	Тести під час доїння в молокозбірнику	63	1000
5	Тести під час доїння в молочному шлангу	170	2500
6	Тест зміни вакууму під час доїння в коротких молочних шлангах при сковзанні дійкової гуми	1000	22000
7	Тест зміни вакууму під час доїння в коротких молочних шлангах при підсмоктування дійкової гуми	2500	42000

Нормальна швидкість відповіді при динамічному вимірюванні пульсацій в піддійковий камері на початку фази А збільшення вакууму і фази С зниження вакууму (ISO 3918:2007 [8]) може бути близько 1000 кПа/с.

Прилад, який використовується для вимірювання надмірного тиску має забезпечувати можливість вимірювання у межах від 0 до 100 кПа з похибкою не більше ± 1 кПа.

Прилад, включаючи сполучні трубки, який використовується для вимірювання характеристик пульсацій повинен вимірювати з похибкою не більше ± 1 імп./хв для швидкості пульсації і з похибкою не більше $\pm 1\%$.

Технічні засоби діагностики доїльних установок призначені для спрощення випробувань доїльних установок будь-яких типів і виробників. Їх основними функціями є вимірювання вакууму, його пульсацій і витрати повітря в доїльних установках. Існує велика різноманітність технічних засобів діагностики доїльних установок які задовольняють вимогам ISO 6690:2007. Основні



характеристики деяких з них представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Технічні засоби діагностики доїльних установок

Назва (Виробник)	Характеристика
MILKOTEST MT 52 (Bepro AG) 	Вимірювальний пристрій для комплексної діагностики доїльних установок. Вимірювання тиску: діапазон – 20-100 кПа; похибка – $\pm 0,6$ кПа; частота опитування 400 Гц. Вимірювання температури: діапазон – від -50 до +150°C; похибка – $\pm 0,1$ °C. Тахометр: діапазон – 500-5000 об/хв; похибка – менше 5 об/хв; дозвіл – 1 об/хв Вимірювання часу молоковіддачі.
PULSOTESTER COMFORT (GEA WestfaliaSurge GmbH) 	Призначений для вимірювання вакууму, пульсацій і швидкості обертання ротора електродвигуна в доїльних установках. Вимірювання тиску: діапазон – 20-60 кПа; похибка – $\pm 0,6$ кПа; частота опитування – 200 Гц. Тахометр: діапазон – 0-15000 об/хв; похибка – менше 10 об/хв. Зовнішні датчики: діапазон – 20-60 кПа; похибка – $\pm 0,6$ кПа; частота опитування – 200 Гц
VPR100 (DeLaval) 	Професійний прилад для тестування доїльних установок. Вимірювання тиску: діапазон – 10-80 кПа; похибка – $\pm 0,6$ кПа; дозвіл – 0,1 кПа; частота опитування 300 Гц. Тахометр: діапазон – 0-10000 об/хв; похибка – менше 5 об/хв; дозвіл – 1 об/хв. Вимірювання повітряного потоку. Зовнішні датчики: діапазон – 10-80 кПа; похибка: $\pm 0,6$ кПа; дозвіл – 0,1 кПа; частота опитування – 300 Гц.
Вимірювач параметрів доїльної установки TEST-1 (Науково-дослідний інститут «ELIRI» S.A.) 	Призначений для збирання, обробки і зберігання інформації про змінні параметри технологічного процесу доїння. При найповнішій конфігурації вимірювач включає: три датчика вакуумметричного тиску (похибка 0,15 %); штучна ділка-датчик з двома вбудованими сенсорами – вакуумметричного (від 0 до 90 кПа) і гідродинамічного (від - 20 до + 30 кПа) тисків; датчик надмірного тиску (до 700 кПа); датчик абсолютного тиску (0,250 кПа) для вимірювання атмосферного тиску; датчик потоку повітря (10-8000 л/хв); безконтактний тахометр для вимірювання швидкості обертання валів двигунів насосів; зонд для вимірювання напруги постійного струму до 42 V; кільцевий зонд для вимірювання електричного опору молока; 2 датчики температури.
EXENDIS PT – V PULSATORTESTER (Exendis B.V.) 	Прилад призначений для вимірювання основних технологічних показників роботи доїльних установок. Містить вбудований міні-принтер, що дозволяє відображати тимчасові залежності пульсацій і флуктуацій вакууму вакуумної системи доїльної установки.
Тестер доїльних установок v.1 (Інститут механізації тваринництва НААН) 	Прилад розроблений для спрощення перевірок молочно-доїльного устаткування молочних ферм. Основні функції – Вимірювання вакууму, його пульсацій і витрати повітря в доїльних установках. Вимірювання вакуумметричного тиску: діапазон – 0-100 кПа; абсолютна похибка – 0,6 кПа; час відгуку датчика тиску – 2,5 мс. Вимірювання пульсацій: діапазон для частоти пульсацій – 40-200 імп./хв; абсолютна похибка для частоти пульсацій – 1 імп./хв; – діапазон для фаз пульсацій – 0-1200 мс. Вимірювання витрати повітря: діапазон – 0-3000 л/хв; абсолютна похибка – 5 л/хв; час відгуку – 2,5 мс.

3. Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є проведення калібрування експериментального зразка Тестер доїльних установок v. 2.0 і визначення точності вимірювань тиску і часових показників його пульсацій в заданих діапазонах вимірювань, а також уточнення калібрувальних коефіцієнтів.

4. Матеріали і методи

Тестер доїльних установок v. 2.0 складається з автоматизованої системи керування з можливістю приєднувати додаткові зовнішні датчики (датчики витрат повітря, температури і Холла), двох вбудованих датчиків тиску (на базі MPX 5100DP) і елементів живлення. Автоматизована система керування виконана на базі апаратної платформи Arduino Mega 2560 з клавіатурою керування і графічним дисплеєм 3.2" 320×480 TFT LCD (рис. 1).

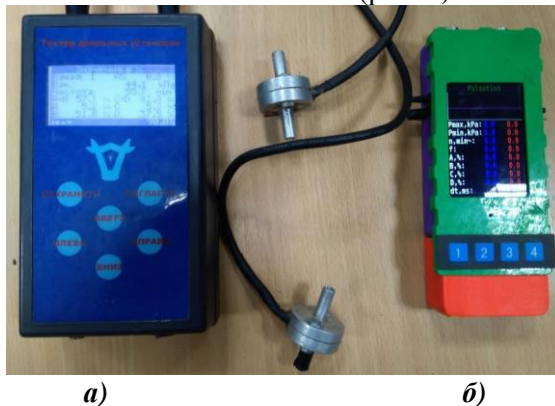


Рис. 1. Загальний вигляд Тестера доїльних установок: а – v. 1.0 і б – v. 2.0

Калібрування експериментального зразка Тестера доїльних установок v. 2.0 проведено в лабораторії на стенді доїльної установки виробництва ТДВ «Брацлав» (Рис. 2, а).

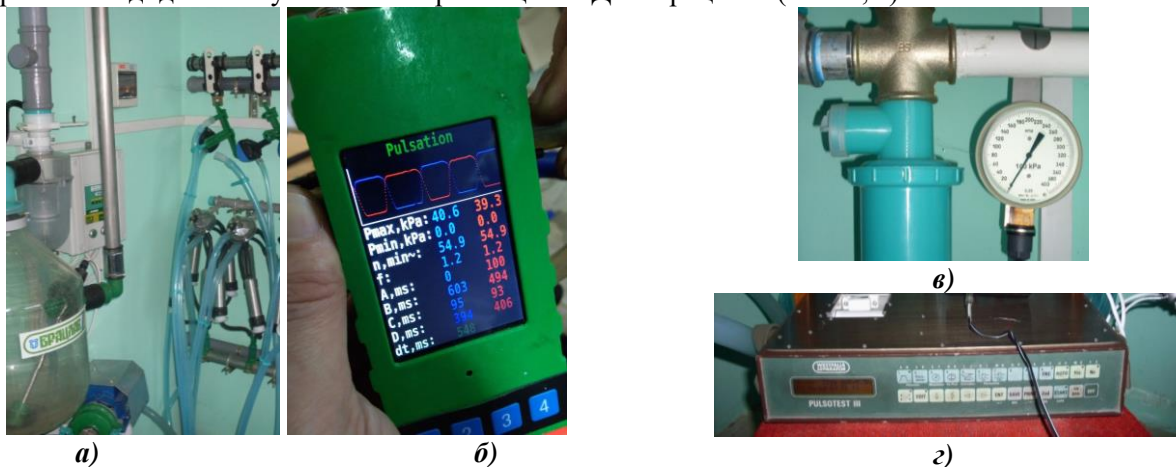


Рис. 2. Стенд доїльної установки виробництва ТДВ «Брацлав» і обладнання для вимірювання: а – загальний вигляд; б – Тестер доїльних установок v. 2.0; в – вакуумметр ВО 1227; г – «PulsoTest 4»

В якості еталонного приладу для вимірювання постійного вакууметричного тиску використовували зразковий вакуумметр ВО 1227 з класом точності 0,25, який підключали до вакуумної системи на початковій ділянці вакуумпроводу (рис. 2, в). Паралельно під'єднували до вакуумпроводу один з датчиків тиску Тестера доїльних установок v. 2.0 (рис. 2, б). Для регулювання рівня вакууму чіпляли на шток вакуум-регулятора (або знімали з нього) навантаження у вигляді круглих металевих пластин з прорізами.

Вимірювання рівня постійного вакууму відбувалось наступним чином. Після підключення зразкового вакуумметра і датчика тиску з Тестера доїльних установок v. 2.0 увімкнули вакуумний насос. Перед початком вимірювань зробили паузу 15 хвилин для забезпечення стабільного рівня вакууму у вакуумпроводі. Далі за допомогою вакуум-регулятора змінювали рівень вакууму і



фіксували значення тиску за показаннями вакуумметра ВО 1227 і Тестера доїльних установок в. 2.0. Вимірювання провели при 12 рівнях вакууму в діапазоні 4,75-62,00 кПа; при кожному з них вимірювання повторювали по 23 рази. Для встановлення факту наявності або відсутності у датчика тиску ефекту гістерезису, вищеописані дії провели спочатку при збільшенні вакуумметричного тиску від мінімального до максимального значення, а потім при його зменшенні.

В якості приладу-аналога для вимірювання параметрів пульсацій вакуумметричного тиску використовували прилад «PulsoTest 4» (рис. 2, г) компанії «GEA Westfalia Separator GmbH» (Німеччина), що дозволяє вимірювати по двох каналах головні показники пульсацій вакууму: частоту пульсацій, співвідношення тактів у відсотках тощо, а також роздруковувати на вбудованому принтері результати вимірювань у числовому вигляді та графіки пульсацій.

Калібрування вимірювача параметрів пульсацій відбувалось наступним чином. До виходів пульсатора підключили два канали приладу «PulsoTest 4», а паралельно – два датчики тиску з Тестера доїльних установок в. 2.0. Після цього увімкнули вакуумний насос і за допомогою регулятора встановили мінімальну частоту пульсацій. Між увімкненням насоса і першим вимірюванням зробили паузу 15 хвилин. Далі перевели прилад «PulsoTest 4» в режим вимірювання з роздрукуванням результатів, а Тестер доїльних установок в. 2.0 – в режим запису виміряних значень вихідної напруги датчика тиску. Припускаючи, що параметри пульсацій залишаються стабільними, повторили вимірювання за допомогою Тестера доїльних установок в. 2.0 з записом результатів 11 разів.

Для перевірки впливу частоти пульсацій на точність отримуваних результатів регулятором змінювали частоту і повторювали вимірювання за допомогою Тестера доїльних установок в. 2.0 і приладу-аналога у вищевикладеній послідовності. Загалом вимірювання провели при 7 значеннях частот, діапазон яких, згідно даних приладу «PulsoTest 4», становить 37,3-131,0 імпульс/хв, а робочий вакуум, згідно даних того ж приладу – від 46,3 кПа до 47,0 кПа. Вимірювання, проведені за допомогою комплексу устаткування, при кожній з частот повторювали 11 разів.

5. Виклад основного матеріалу

Вихідні дані для досліджень похибки вимірювання вакуумметричного тиску:

- кількість значень вакуумметричного тиску – 12;
- діапазон варіювання вакуумметричного тиску – 4,75-62,00 кПа;
- кількість блоків вимірювань – 2 (при збільшенні та зменшенні рівня вакууму);
- кількість вимірювань в одному блоці – 276 (23×12);
- достовірність виводу – 0,99.

Перевірку нормальності розподілу похибок вимірювань здійснювали окремо для кожного з блоків за допомогою критерію χ^2 . Попередньо провели нормалізацію даних, а саме замість абсолютних значень показника b_{ij} використовували різницю $b_{ij} - \bar{b}_i$, де \bar{b}_i – середнє значення b при i -му значенні вакуумметричного тиску. Отримані таким чином дані згрупували за 12 інтервалами, що відповідає 9 ступеням свободи. Розрахунки показали, що для першого блоку $\chi^2 = 17,8$, для другого блоку $\chi^2 = 11,0$ при критичному значенні $\chi^2_{кр} = 21,7$. Таким чином, немає підстав вважати, що розподіл похибок вимірювань відрізняється від нормального.

Для кожного значення вакуумметричного тиску були розраховані дисперсії показників b та проведено перевірку гіпотези про їх однорідність за допомогою критерію Кохрена G . В результаті було отримано для першого блоку $G = 0,1067$, для другого блоку $G = 0,1181$ при критичному значенні $G_{кр} = 0,1768$. Оскільки в обох випадках виконується нерівність $G < G_{кр}$, гіпотеза про однорідність дисперсій була прийнята і розраховані середні значення дисперсій для блоків: $s_{P1}^2 = 5,3182$, $s_{P2}^2 = 4,9364$.

Далі було зроблено припущення, що залежність $b(P)$ є лінійною, і розраховані значення кута нахилу k та вільного члена a цієї залежності. Для двох блоків вимірювань ці параметри становлять: $k_1 = 9,2721$, $a_1 = 41,0325$, $k_2 = 9,2493$, $a_2 = 40,5652$. Для перевірки гіпотези про лінійність калібрувальної характеристики, з урахуванням знайдених коефіцієнтів були розраховані теоретичні значення показників b_i при даних величинах тиску P_i та обчислена дисперсія s_0^2 різниць між середніми експериментальними та теоретичними значеннями. Величини цієї дисперсії для блоків вимірювань відповідно становлять $s_{01}^2 = 6,4785$, $s_{02}^2 = 5,7399$. В результаті порівняння дисперсій s_0^2 і s_P^2 були отримані значення критерію Фішера $F = 1,22$ для першого блоку і $F = 1,16$ для другого блоку. Число ступенів свободи для більшої дисперсії становить 274, для меншої – 264. В той же час, критичне значення критерію Фішера навіть при ступенях свободи відповідно 500 і 400 дорівнює



$F_{кр} = 1,24$. Таким чином, в обох випадках виконується нерівність $F < F_{кр}$, тобто гіпотезу про лінійність калібрувальної характеристики слід прийняти.

Дисперсії коефіцієнтів k і a для двох блоків вимірювань:

$$\begin{cases} s_{k1}^2 = 1,75 \cdot 10^{-3}; s_{a1}^2 = 2,446; \\ s_{k2}^2 = 1,555 \cdot 10^{-3}; s_{a2}^2 = 2,167. \end{cases} \quad (1)$$

Число ступенів свободи для цих дисперсій становить 274.

В результаті попарного порівняння вказаних дисперсій були отримані значення критерію Фішера $F_k = F_a = 1,13$, що істотно менше критичного значення. Це вказує на відсутність суттєвої різниці між дисперсіями, що порівнювались, і дозволяє замінити їх середніми значеннями дисперсій: $s_k^2 = 1,655 \cdot 10^{-3}$, $s_a^2 = 2,306$.

Для виявлення наявності або відсутності гістерезису у датчика тиску, калібрування якого проводилось, за розрахованими вище показниками були обчислені значення t -критеріїв. Розрахунок показав, що $t_k = 1,377$, $t_a = 0,754$, тоді як критичне значення навіть при необмежено великому числі ступенів свободи становить $t_{кр} = 2,576$. Таким чином, різниця між коефіцієнтами k_1 і k_2 , а також a_1 і a_2 , є несуттєвою (явища гістерезису не спостерігається). Це дає підстави для об'єднання результатів вимірювань в першому та другому блоках і розрахунку коефіцієнтів калібрувальної характеристики за всіма даними. В результаті проведення вказаного розрахунку були визначені наступні параметри:

- дисперсія результатів вимірювань: $s_P^2 = 5,5190$;

- коефіцієнти калібрувальної характеристики: $k = 9,2607$, $a = 40,7988$;

- дисперсія різниць між теоретичними та експериментальними значеннями показників b_i : $s_0^2 = 6,0111$;

- дисперсії коефіцієнтів калібрувальної характеристики: $s_k^2 = 1,628 \cdot 10^{-3}$, $s_a^2 = 2,269$ (550 ступенів свободи);

- довірчі інтервали для коефіцієнтів калібрувальної характеристики: $\Delta k = 0,1039$, $\Delta a = 3,8806$;

- довірчий інтервал для вимірюваної величини: $\Delta b = 6,0517$.

На основі знайдених дисперсій s_0^2 , s_k^2 , коефіцієнта k та інших параметрів були обчислені середнє квадратичне відхилення s та довірчий інтервал ΔP для вакуумметричного тиску, що відповідає вимірюваному значенню b :

$$\begin{aligned} s(b) &= 0,2647 \cdot \sqrt{1,0833 + 3,158 \cdot 10^{-6} \cdot (b - 346,0163)^2}, \\ \Delta P &= 0,25 + 0,6820 \cdot \sqrt{1,0833 + 3,158 \cdot 10^{-6} \cdot (b - 346,0163)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Як свідчить аналіз формули (2), в межах діапазону, в якому проводилось калібрування (4,75-62 кПа), похибка визначення вакуумметричного тиску для даних умов калібрування становить $\pm 0,960$ - $1,031$ кПа.

Загальний вигляд калібрувальної характеристики датчика тиску, побудованої на основі наведених вище розрахунків, представлено на рис. 3.

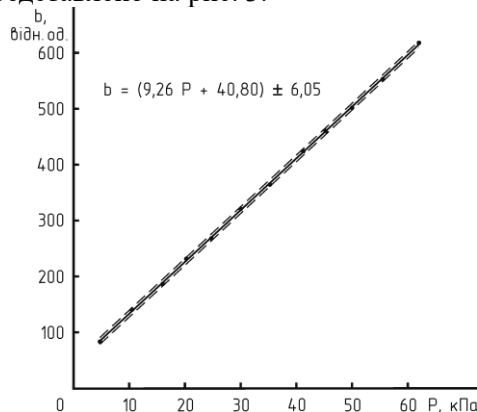
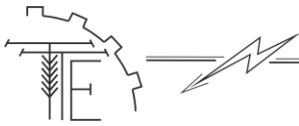


Рис. 3. Калібрувальна характеристика датчика тиску Тестера доїльних установок в. 2.0

Для порівняння калібрувальної характеристики, зображеної на рис. 1, з відповідною характеристикою датчика MPX5100DP, наведеною в технічній документації, був здійснений перерахунок вихідної напруги датчика тиску з відносних одиниць у вольти (перехід від b до U). В



результаті рівняння калібрувальної характеристики датчика тиску, отримане за експериментальними даними, можна переписати у вигляді:

$$U = (0,045P + 0,199) \pm 0,030. \quad (3)$$

Одержаний кут нахилу та вільний член калібрувальної характеристики датчика тиску практично збігаються зі значеннями, наведеними в технічній документації. Розбіжність значень довірчого інтервалу пояснюється тим, що в технічній документації при визначенні максимальної похибки вимірювань датчика були додатково враховані похибки, пов'язані з впливом температури навколишнього середовища.

Вихідні дані для досліджень похибки вимірювання часових характеристик пульсацій:

- кількість значень частоти пульсацій – 7;
- діапазон варіювання частоти – 37,3-131,0 імп/хв;
- кількість каналів – 2;
- кількість вимірювань при даній частоті – 11 на кожний канал;
- достовірність виводу – 0,99.

Згідно стандарту ISO 3918, вирізняють наступні фази пульсацій вакуумметричного тиску:

- фаза *A* – підвищення рівня вакууму з 4 кПа до величини $P_{CT} - 4$ кПа, де P_{CT} – робочий вакуумметричний тиск;

- фаза *B* – рівень вакууму більше або дорівнює $P_{CT} - 4$ кПа;
- фаза *C* – зниження рівня вакууму з величини $P_{CT} - 4$ кПа до 4 кПа;
- фаза *D* – рівень вакууму не перевищує 4 кПа.

Вимірювання пульсацій вакуумметричного тиску проводили паралельно за допомогою приладу «PulsoTest 4» та досліджуваного Тестера доільних установок в. 2.0. Результати вимірювань приладом «PulsoTest 4» (частота пульсацій, тривалість фаз та ін.) роздруковували на вбудованому принтері; результати вимірювань, проведених за допомогою комплексу устаткування, зберігали на карті пам'яті у вигляді послідовностей зі 127 миттєвих значень вихідної напруги датчика тиску, що автоматично фіксувались через однакові інтервали часу Δt . Розрахунок частоти пульсацій, тривалості фаз і зміщення пульсацій за результатами вимірювань проводили наступним чином:

1) Використовуючи отриману калібрувальну характеристику (3), здійснили перерахунок кодованих значень вихідної напруги датчика тиску в абсолютні значення;

2) в якості робочого вакуумметричного тиску P_{CT} для кожного вимірювання приймали максимальне значення тиску в цьому вимірюванні;

3) підраховували кількість інтервалів Δt для кожної з фаз: для фази *A* – від першого значення тиску, більшого або дорівнюючого 4 кПа, до першого значення тиску, більшого або дорівнюючого $P_{CT} - 4$ кПа; для фази *B* – від першого значення тиску, більшого або дорівнюючого $P_{CT} - 4$ кПа, до першого значення тиску, меншого або дорівнюючого $P_{CT} - 4$ кПа, і т.д.;

4) значення інтервалу Δt в мілісекундах знаходили з формули:

$$\Delta t = \left[\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{11} \sum_{k=1}^2 \frac{T_i}{(\Delta t_A + \Delta t_B + \Delta t_C + \Delta t_D)_{ijk}} \right] \cdot \frac{1}{154}, \quad (4)$$

де T – період пульсацій (величина, зворотна частоті пульсацій за даними приладу «PulsoTest 4»), мс;

$\Delta t_A, \Delta t_B, \Delta t_C, \Delta t_D$ – кількість інтервалів Δt для кожної з фаз пульсацій;

i – порядковий номер частоти, при якій проводились вимірювання;

j – номер вимірювання при даній частоті;

k – номер каналу вимірювача.

В результаті розрахунків за формулою (4) було отримане значення $\Delta t = 19,70$ мс.

1) помноживши раніше знайдені кількості інтервалів Δt для кожної з фаз на значення цього інтервалу, розраховане за формулою (4), знайшли тривалості фаз пульсацій в мілісекундах;

2) зміщення пульсацій у двох каналах знаходили як різницю інтервалів часу між початком вимірювання та початком фази *A* для першого та другого каналів вимірювача.

Перевірку нормальності розподілу похибок вимірювань здійснювали за допомогою критерію χ^2 . Попередньо здійснювали нормалізацію даних аналогічно до того, як це було зроблено при обробці результатів калібрування датчика тиску. Отримані дані згрупували за 9 інтервалами, що відповідає 6 ступеням свободи. В результаті розрахунків було знайдено $\chi^2 = 15,9$ при критичному значенні $\chi^2_{кр} = 16,8$. Це дозволяє вважати, що розподіл похибок вимірювань є нормальним.



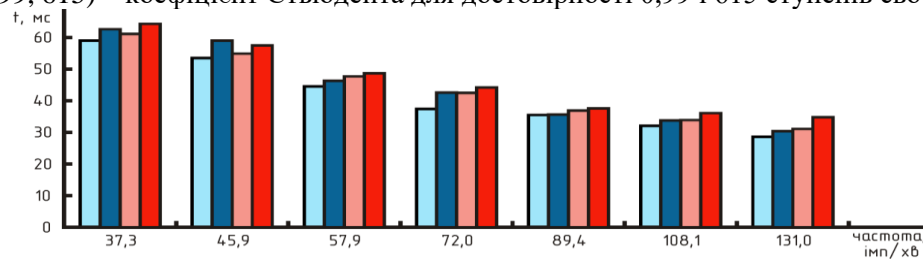
Далі були розраховані дисперсії тривалості фаз пульсацій окремо для кожної частоти, фази та кожного з двох каналів. Дисперсії змінення пульсацій не наводяться, оскільки встановлено, що при кожній частоті цей параметр дорівнює нулю.

Перевірку гіпотези про однорідність дисперсій здійснювали за допомогою критерію Кохрена G . В результаті було отримане значення $G = 0,0482$, тоді як критичне значення навіть при кількості дисперсій $n = 60$ і 10 ступенях свободи становить $G_{кр} = 0,0567$. Це показує, що абсолютна похибка вимірювань не залежить від частоти пульсацій в дослідженому діапазоні і характеризується середньою дисперсією $s^2 = 145,339$ мс² з 615 ступенями свободи.

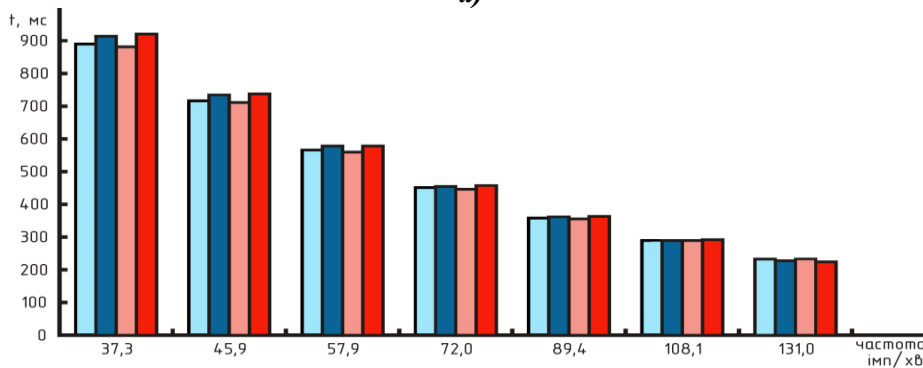
Довірчий інтервал ΔT для визначення тривалості фаз пульсацій був розрахований на основі знайденої дисперсії вимірювань:

$$\Delta T = t(0,99, 615) \cdot s = 2,576 \cdot \sqrt{145,339} \approx 31 \text{ (мс)}, \quad (5)$$

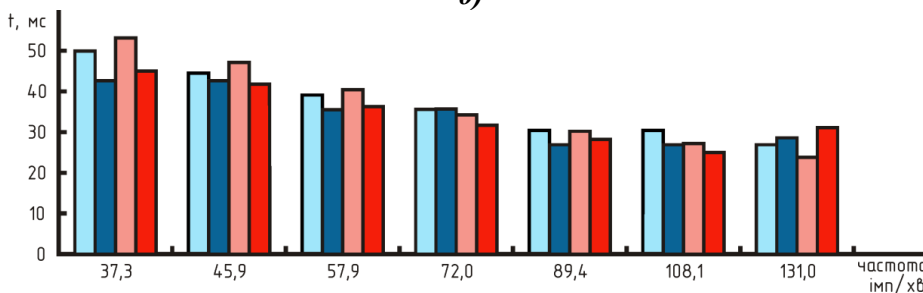
де $t(0,99, 615)$ – коефіцієнт Стюдента для достовірності 0,99 і 615 ступенів свободи.



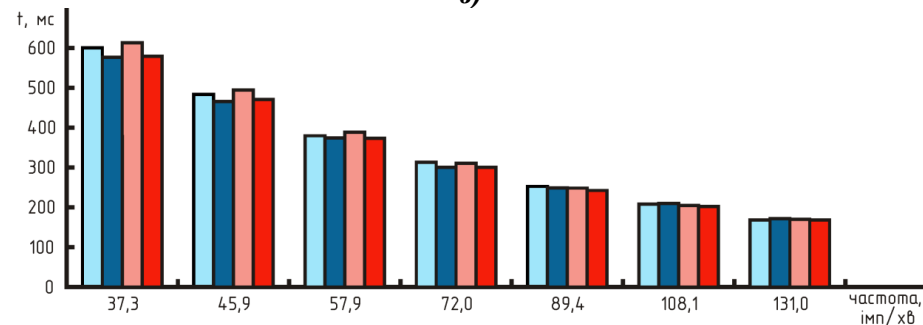
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Тривалість фаз А (а), В (б), С (в) і D (г) при різних частотах пульсацій:

■ – Тестер доїльних установок в. 2.0, канал 1; ■ – Тестер доїльних установок в. 2.0, канал 2;
■ – «PulsoTest 4», канал 1; ■ – «PulsoTest 4», канал 2;



Аналіз отриманих даних (рис. 4), показує, що максимальна розбіжність між значеннями, отриманими за допомогою двох приладів, становить 12,8 мс, тобто менше за розраховану величину довірчого інтервалу. Таким чином, прийнявши результати вимірювань приладом «PulsoTest 4» в якості еталонних, можна зробити висновок про відсутність суттєвих розбіжностей між даними, отриманими за допомогою обох приладів.

6. Висновки

1. Розроблено Тестер доїльних установок v. 2.0, який складається з автоматизованої системи керування з можливістю приєднувати додаткові зовнішні датчики (датчики витрат повітря, температури і Холла), двох вбудованих датчиків тиску (на базі MPX 5100DP) і елементів живлення. Автоматизована система керування виконана на базі апаратної платформи Arduino Mega 2560 з клавіатурою керування і графічним дисплеєм 3.2" 320×480 TFT LCD.

2. В результаті калібрування датчика тиску, що входить до складу Тестера доїльних установок v. 2.0, було встановлено наступне:

- калібрувальна характеристика датчика є лінійною в дослідженому діапазоні тисків (4,75-62,00 кПа);
- рівняння, яким описується калібрувальна характеристика, збігається з рівнянням, наведеним в технічній документації на датчик;
- похибка вимірювання тиску у вказаному діапазоні становить близько 1 кПа;
- за результатами калібрування немає підстав вважати, що датчику тиску властивий ефект гістерезису.

3. Результати калібрування вимірювача пульсацій вакууметричного тиску показали, що визначення тривалості фаз імпульсів характеризується роздільною здатністю 19,70 мс і похибкою вимірювання ± 31 мс в діапазоні частот пульсацій 37,3-131,0 ім/хв. Величина цієї похибки не залежить від частоти пульсацій у вказаному діапазоні.

Список використаних джерел

1. Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок. За редакцією доктора технічних наук, професора, член-кореспондента НААН України, І.А. Шевченка. Запоріжжя: Акцент Інвест-трейд. 2013. 156 с. ISBN 978-966-2602-41-VIII.
2. Хмельовський В. С., Павленко С. І., Линник Ю. О., Дудін В. Ю., Алієв Е. Б. Механіко-технологічні основи використання вакуумних насосів доїльних установок: монографія. К. : ЦП "Компринт". 2017. 177 с. ISBN 978-966-929-645-0.
3. Алієв Е. Б., Тісліченко О. С., Гришун А. В. Обґрунтування конструкційної схеми комплексу устаткування контролю вакууметричних параметрів доїльного обладнання. *Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. Вінниця, 2011. Вип. 9. С. 30–38.
4. Алієв Е. Б. Техніко-економічне обґрунтування застосування методики прогнозування ресурсу молочно-доїльного обладнання. *Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. Вінниця, 2012. Вип. 10, т. 2. С. 36–39.
5. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 2007. 52 p.
6. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 2007. 46 p.
7. Алієв Е.Б. Етапи налагодження якісного технічного сервісу молочно-доїльного обладнання. *Інженерія природокористування*. 2015. №2(4). с. 46–50.
8. ISO 3918. Milking machine installations – Vocabulary. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 2007. 42 p.

References

- [1] Shevchenko I.A., Aliyev E.B. (2013). *Naukovo-metodychni rekomendatsiyi z bahatokryterial'noho vyrobnychoho kontrolyu doyl'nykh ustanovok* [Scientific and methodical recommendations on multicriteria production control of milking parlors]. Edited by Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAAS of Ukraine, I.A. Shevchenko. Zaporozhye: Accent Invest-trade. 2013. 156 p. ISBN 978-966-2602-41-VIII. [in Ukrainian].



- [2] Khmelovsky V.S., Pavlenko S.I., Linnyk Y.O., Dudin V.Y., Aliyev E.B. (2017). Mekhaniko-tehnologichni osnovy vykorystannya vakuumnykh nasosiv doyl'nykh ustanovok [Mechanical and technological bases of use of vacuum pumps of milking installations: monograph]. "Kompyrnt". 2017. 177 p. ISBN 978-966-929-645-0. [in Ukrainian].
- [3] Aliyev E.B., Tislichenko O.S., Gritsun A.V. (2011). Obgruntuvannya konstruktsiynoyi skhemy kompletu ustatkuvannya kontrolyu vakuummetrychnykh parametriv doyl'noho obladnannya [Substantiation of the construction scheme of the set of equipment for control of vacuum parameters of milking equipment]. Coll. Science. Proceedings of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical Sciences. Vinnytsia, 2011. Issue. 9. pp. 30-38. [in Ukrainian].
- [4] Aliyev E.B. (2012). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannya zastosuvannya metodyky prohozuvannya resursu molochno-doyil'noho obladnannya [Feasibility study of the method of forecasting the life of milking equipment]. Coll. Science. Proceedings of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical Sciences. Vinnytsia. 2012. Issue. 10. v. 2. pp. 36-39. [in Ukrainian].
- [5] ISO 5707. (2017). Milking machine installations - Construction and performance. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 2007. 52 p. [in English].
- [6] ISO 6690. Milking machine installations - Mechanical tests. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 2007. 46 p. [in English].
- [7] Aliyev E.B. (2015). Etapy nalahodzhennya yakisnoho tekhnichnoho servisu molochno-doyil'noho obladnannya [Stages of establishing high-quality technical service of milk-milking equipment]. Environmental engineering. 2015. №2 (4). pp. 46-50. [in Ukrainian].
- [8] ISO 3918. (2017). Milking machine installations - Vocabulary. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 42 p. [in English].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ТЕСТЕРА ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК V. 2.0

Процесс диагностики доильных установок должен проводиться с использованием измерительных приборов. Измерительные приборы, должны иметь максимальную погрешность, которая вместе со статистической погрешностью измерений гарантирует то, что по требованиям ISO 5707: 2007 данные могут быть записаны с достаточной точностью. Приборы должны проходить регулярное калибровки, чтобы обеспечить необходимую точность измерений (ISO 6690: 2007). Разработан Тестер доильных установок v. 2.0, который состоит из автоматизированной системы управления с возможностью присоединять дополнительные внешние датчики (датчики расхода воздуха, температуры и Холла), двух встроенных датчиков давления (на базе MPX 5100DP) и элементов питания. Автоматизированная система управления выполнена на базе аппаратной платформы Arduino Mega 2560 с клавиатурой управления и графическим дисплеем 3.2 "320 × 480 TFT LCD. Целью исследований является проведение калибровки экспериментального образца Тестер доильных установок v. 2.0 и определения точности измерений давления и временных показателей его пульсаций в заданных диапазонах измерений, а также уточнение калибровочных коэффициентов. в результате калибровки датчика давления, входит в состав Тестера доильных установок v. 2.0, было установлено следующее: калибровочная характеристика датчика является линейной в исследованном диапазоне давлений (4,75-62,00 кПа); уравнения, которым описывается калибровочная характеристика, совпадает с уравнением, приведенным в технической документации на датчик, погрешность измерения давления в указанном диапазоне составляет около 1 кПа по результатам калибровки нет оснований считать, что датчику давления присущ эффект гистерезиса. Результаты калибровки измерителя пульсаций вакуумметрического давления показали, что определение продолжительности фаз импульсов характеризуется разрешением 19,70 мс и погрешностью измерения ± 31 мс в диапазоне частот пульсаций 37,3-131,0 имп/мин. Величина этой погрешности не зависит от частоты пульсаций в указанном диапазоне.

Ключевые слова: доильные установки, параметры, тестер, калибровки, вакуумметрическое давление, пульсации.

Ф. 5. Табл. 2. Рис. 4. Лит. 8.

RESULTS OF MILKING INSTALLATION TESTER TEST V. 2.0

The process of diagnosis of milking parlors should be carried out using measuring instruments. Measuring instruments must have a maximum error which together with the statistical error of measurements guarantees that according to the requirements of ISO 5707: 2007 the data can be recorded with sufficient accuracy. Instruments must be calibrated regularly to ensure the required measurement



accuracy (ISO 6690: 2007). Developed Milking machine tester v. 2.0, which consists of an automated control system with the ability to connect additional external sensors (air flow, temperature and Hall sensors), two built-in pressure sensors (based on MPX 5100DP) and batteries. The automated control system is made on the basis of the Arduino Mega 2560 hardware platform with the control keyboard and the graphic display 3.2 "320 × 480 TFT LCD. The purpose of researches is to carry out calibration of experimental sample Tester of milking installations v. 2.0 As a result of calibration of the pressure sensor included in the Tester of milking installations v. 2.0, the following was established: the calibration characteristic of the sensor is linear in the investigated pressure range (4.75-62.00 kPa); the equation describing the calibration characteristic coincides with the equation given in the technical documentation for the sensor, the error of measuring the pressure in the specified range is about 1 kPa, the calibration results do not suggest that the pressure sensor has a hysteresis effect. found that the determination of the duration of the pulse phases is characterized by a resolution of 19.70 ms and a measurement error of ± 31 ms in the frequency range of pulsations 37.3-131.0 pulses/min The magnitude of this error does not depend on the pulsation frequency in the specified range.

Key words: milking parlors, parameters, tester, calibration, vacuum pressure, pulsations.

F. 5. Table. 2. Fig. 4. Ref. 8.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, професор кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Бабин Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: ihorbabyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>).

Буйницький Олег Ігорович – магістрант кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000).

Алиев Эльчин Бахтияр оглы – доктор технических наук, старший исследователь, профессор кафедры механизации производственных процессов в животноводстве Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Яропуд Виталий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Бабин Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: ihorbabyn@gmail.com).

Буйницкий Олег Игоревич – магистрант кафедры механизации производственных процессов в животноводстве Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина, 49000).

Aliyev Yelchin – Doctor of Technical Sciences, senior researcher, professor of the departments of mechanization of production processes in animal husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S.Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Yaropud Vitalii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Babyn Ihor – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: ihorbabyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>).

Buynyt's'kyi Oleh – undergraduate of the departments of mechanization of production processes in animal husbandry of the Dnipro State Agrarian and Economic University (25 Sergiy Efremov St., Dnipro, Ukraine, 49000).