**I. МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ**

УДК 637.11

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЮ ДЛЯ
ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУММЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЇ ПРОМИВКИ ДОЇЛЬНОЇ
УСТАНОВКИ**

Бабин Ігор Анатолійович, асистент
Вінницький національний аграрний університет

I. Babyn, Assistant
Vinnytsia National Agrarian University

В науковій статті на основі критичного аналізу відомих технічних засобів для діагностики стану доїльного обладнання розроблено пристрій для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки, за метрологічними показниками.

В результаті дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки було встановлено, що рівняння, яким описується калібрувальна характеристика датчиків тиску, що входять до складу розробленого пристрою збігається з рівнянням, наведеним в технічній документації на датчики. Визначено похибку вимірювання тиску в дослідженому діапазоні. За результатами дослідження немає підстав вважати, що датчикам тиску властивий ефект гістерезису. В ході дослідження визначено тривалість фаз імпульсів динамічного тиску та встановлено, що величина похибки не залежить від частоти пульсацій.

Ключові слова: доїльна установка, вакуум, тиск, промивка, система, лінія, вимоги.

Ф. 3. Рис. 2. Табл. 1. Літ. 8.

1. Постановка проблеми

Однією з головних умов ефективної експлуатації лінії промивки доїльної установки є проведення своєчасної та якісної діагностики його стану, зокрема контроль параметрів статичного і динамічного тиску у вакуумній системі. До таких параметрів відносяться:

- для статичного тиску – мінімальне, максимальне і середнє значення, стабільність тиску;
- для динамічного тиску – амплітуда і частота пульсацій, тривалість фаз і їх співвідношення.

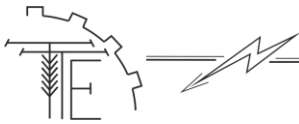
На сьогоднішній день виробники вітчизняного доїльного обладнання не випускають технічних засобів для діагностики його стану. Діагностичні прилади, що випускаються відомими закордонними виробниками (DeLaval, GEAWestfaliaSeparatorGmbH), хоч і відповідають вимогам міжнародних стандартів щодо переліку вимірюваних технічних параметрів доїльного обладнання і точності їх вимірювання, мають високу вартість, що суттєво зменшує можливості їх застосування у дрібних фермерських господарствах [1, 2, 3]. Тому актуальною задачею є розробка пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки, за метрологічними показниками порівняного з імпортними аналогами, але володіючого порівняно низькою собівартістю.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню контролю параметрів статичного і динамічного тиску у вакуумній системі доїльних установок присвячені роботи таких вчених, як Л. П. Карташов [1], А. І. Фененко [2], І. А. Шевченко [3, 4], Е. Б. Алієв [5] та інших дослідників. В роботах авторами було проведено моделювання фізичних процесів доїльного обладнання. Однак зазначені роботи не освітлюють в повній мірі причини зміни вакуумного режиму промивки доїльних установок і відповідно до цього шляхи їх вирішення.

3. Мета дослідження

Метою проведення дослідження є визначення точності вимірювання тиску у вакуумній системі і часових показників його пульсацій за допомогою створеного пристрою для вимірювання



вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки, а також уточнення калібрувальних коефіцієнтів датчиків тиску, що входять до його складу.

4. Результати дослідження

Дослідження планувалось здійснювати шляхом проведення паралельних вимірювань вакуумметричного тиску (статичного і динамічного) за допомогою макетного зразка розробленого пристрою та еталонних приладів з відомими метрологічними характеристиками. В результаті передбачалось:

- отримати калібрувальну характеристику датчиків тиску, що входять до складу розробленого пристрою, та зробити висновок про її відповідність даним, наведеним в технічній документації на датчики тиску;
- розрахувати похибки вимірювання вакуумметричного тиску та часових показників його пульсацій.

Дослідження проводили в лабораторії машинного доїння корів на лабораторній моделі системи промивки доїльної установки (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторна модель системи промивки доїльної установки

В якості еталонного приладу для вимірювання рівня статичного вакууму використовували вакуумметр зразковий ВО 1227 з класом точності 0,25, який підключали до моделі системи промивки на початковій ділянці вакуумпроводу. Паралельно під'єднували до вакуумпроводу один з датчиків тиску з розробленого пристрою (рис. 2, а).

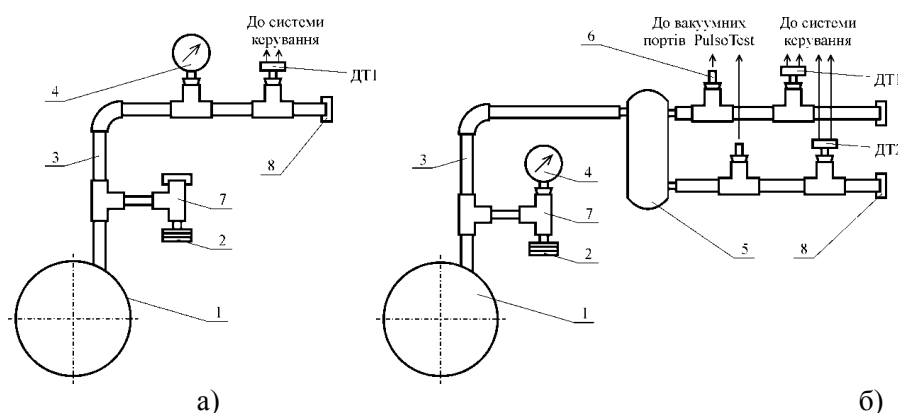
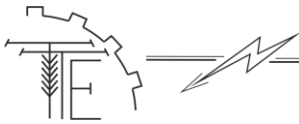


Рис. 2. Схеми підключення датчиків до вакуумпроводу для вимірювання параметрів статичного (а) і динамічного (б) тиску:

1 – вакуумний насос; 2 – вакуум-регулятор; 3 – вакуумпровід; 4 – еталонний вакуумметр; 5 – регульований пульсатор попарного доїння; 6 – з'єднувальний шланг; 7 – трійник; 8 – пробка; ДТ1, ДТ2 – датчики тиску з розробленого пристрою



Вимірювання рівня статичного вакууму відбувалось наступним чином. Після підключення зразкового вакуумметра і датчика тиску з розробленого пристрою 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 та фіксували значення тиску за показами вакуумметра ВО 1227 і вихідну напругу датчика тиску з розробленого пристрою. 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" компанії "GEAWestfaliaSeparatorGmbH", що дозволяє вимірювати по двох каналах головні показники пульсацій вакууму: частоту пульсацій, співвідношення тактів у відсотках тощо, а також роздруковувати результати вимірювань на вбудованому принтері. Основні метрологічні характеристики приладу зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Метрологічні показники приладу "PulsoTest 4" щодо вимірювання параметрів пульсацій тиску

Показник	Значення
Частота, імп/хв, не більше	200
Похибка, імп/хв, не більше	± 1
Роздільна здатність, мс	± 10
Швидкість опитування, вибірок/с	1000

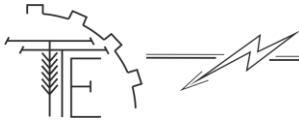
Визначення часових параметрів динамічного тиску відбувалось наступним чином. До виходів пульсатора підключили два канали приладу "PulsoTest 4", а паралельно – два датчики тиску з розробленого пристрою (рис. 2, б). Після цього увімкнули вакуумний насос і за допомогою регулятора встановили мінімальну частоту пульсацій. Між увімкненням насоса і першим вимірюванням зробили паузу 15 хвилин. Далі перевели прилад "PulsoTest 4" в режим вимірювання з роздрукуванням результатів, а розроблений пристрій – в режим запису виміряних значень вихідної напруги датчиків тиску на карту пам'яті. Припускаючи, що параметри пульсацій залишаються стабільними, повторили вимірювання за допомогою розробленого пристрою з записом результатів на карту пам'яті 11 разів.

Для перевірки впливу частоти пульсацій на точність отримуваних результатів регулятором змінювали частоту і повторювали вимірювання за допомогою розробленого пристрою 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 імп/хв, а робочий вакуум, згідно даних того ж приладу – 46,3 – 47,0 кПа. Вимірювання, проведені за допомогою розробленого пристрою, при кожній з частот повторювали 11 разів.

Математична обробка даних, отриманих в процесі вимірювань статичного тиску, проводилась з використанням параметричних критеріїв статистичного аналізу [6 – 7] і включала в себе:

- перевірку нормальності розподілу похибок вимірювань за допомогою критерію χ^2 ;
- обчислення дисперсій значень вихідної напруги U датчика тиску і перевірку гіпотези про їх однорідність за допомогою критерію Кохрена G ;
- розрахунок коефіцієнтів калібрувальної характеристики датчиків тиску в припущенні, що ця залежність є лінійною, і перевірку гіпотези про лінійність цієї характеристики з використанням критерію Фішера F ;
- перевірку гіпотези про відсутність ефекту гістерезису у датчиків тиску. Для цього окремо розраховували коефіцієнти калібрувальної характеристики за значеннями вихідної напруги датчика тиску, виміряними при збільшенні рівня вакууму від мінімального до максимального значення, та при його зменшенні. Знайдені коефіцієнти порівнювали між собою з використанням критерію Ст'юдента t ;
- розрахунок довірчого інтервалу вимірювання вихідної напруги датчика тиску та похибки визначення тиску за даною калібрувальною характеристикою.

На основі отриманих результатів було зроблено висновок про відсутність ефекту гістерезису у датчиків тиску. Розраховане рівняння калібрувальної характеристики має вигляд



$$U = (0,045 \cdot P + 0,199) \pm 0,030 (B) \quad (1)$$

Цей вираз практично збігається з рівнянням калібрувальної характеристики, наведеним в технічній документації на датчики тиску

$$U = (0,045 \cdot P + 0,200) \pm 0,112 (B). \quad (2)$$

Розбіжність значень довірчого інтервалу пояснюється тим, що в технічній документації були додатково враховані похибки, пов'язані з впливом температури навколишнього середовища.

Розрахунок похибки вимірювання тиску показав, що в межах діапазону, в якому проводилось дослідження (4,75 – 62,0 кПа), похибка визначення вакуумметричного тиску для даних умов вимірювань становить $\pm 1,0$ кПа.

Результати вимірювань пульсацій вакуумметричного тиску, проведених за допомогою розробленого пристрою, зберігали на карті пам'яті у вигляді послідовностей зі 127 миттєвих значень вихідної напруги датчиків тиску, що автоматично фіксувались через однакові інтервали часу Δt . Розрахунок тривалостей фаз за результатами вимірювань проводили наступним чином:

- використовуючи калібрувальну характеристику датчиків тиску, здійснили перерахунок значень вихідної напруги датчиків у значення тиску;
- підраховали кількість інтервалів Δt для кожної з фаз пульсацій, при цьому використовували визначення фаз відповідно до стандарту ISO 3918 [6];
- знайшли значення інтервалу Δt в мілісекундах з формули

$$\Delta t = \left[\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{11} \sum_{k=1}^2 \frac{T_i}{(\Delta t_A + \Delta t_B + \Delta t_C + \Delta t_D)_{ijk}} \right] \cdot \frac{1}{154}, \quad (3)$$

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 (3) було отримане значення $\Delta t = 19,70$ мс. Помноживши це значення на раніше знайдені кількості інтервалів для кожної з фаз, знайшли тривалості фаз в мілісекундах.

Математична обробка даних, отриманих в процесі вимірювань параметрів динамічного тиску, включала в себе:

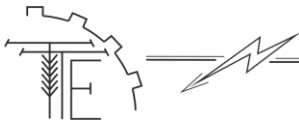
- перевірку нормальності розподілу похибок вимірювань за допомогою критерію χ^2 ;
- розрахунок дисперсій тривалостей фаз пульсацій та перевірку гіпотези про їх однорідність за допомогою критерію Кохрена;
- розрахунок довірчого інтервалу ΔT визначення тривалостей фаз пульсацій;
- порівняння тривалостей фаз пульсацій, визначених за допомогою розробленого пристрою та приладу-аналога.

Оскільки було встановлено, що розраховані дисперсії можна вважати однорідними для вимірювань, здійснених при різних частотах пульсацій, було зроблено висновок про відсутність суттєвого впливу частоти на точність вимірювань часових показників динамічного тиску в даному частотному діапазоні.

При порівнянні результатів вимірювань, здійснених за допомогою розробленого пристрою і приладу-аналога, було знайдено, що розбіжності отриманих значень не перевищують 12,8 мс, тоді як розрахований довірчий інтервал визначення тривалостей фаз пульсацій за допомогою розробленого пристрою становить $\Delta T \approx 31$ мс. Тобто, прийнявши результати вимірювань приладом “PulsoTest 4” в якості еталонних, можна зробити висновок про відсутність суттєвих розбіжностей між даними, отриманими за допомогою обох приладів.

5. Висновки

В результаті дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки було встановлено наступне:



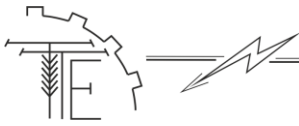
- рівняння, яким описується калібрувальна характеристика датчиків тиску, що входять до складу розробленого пристрою, збігається з рівнянням, наведеним в технічній документації на датчики;
- похибка вимірювання тиску в дослідженому діапазоні становить близько 1 кПа;
- за результатами дослідження немає підстав вважати, що датчикам тиску властивий ефект гістерезису;
- визначення тривалості фаз імпульсів динамічного тиску характеризується роздільною здатністю 19,70 мс і похибкою вимірювання ± 31 мс в діапазоні частот пульсацій 37,3...131,0 імпульсів/хв. Величина цієї похибки не залежить від частоти пульсацій у вказаному діапазоні.

Список використаних джерел

1. Карташов Л. П. О контролируемых параметрах вакуумной системы доильной установки / Л. П. Карташов, Ю. А. Ушаков // Вестник Оренбургского государственного университета, 2011. – №8 (127). – С. 220 – 223.
2. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика: Монографія / А. І. Фененко. – К.: Техніка, 2008. – 198 с.
3. Шевченко І. А. Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок / І. А. Шевченко, Е. Б. Алієв. – Запоріжжя: Акцент Інвест-трейд, 2013 – 156 с.
4. Shevchenko, I. Automated control systems for technical processes in dairy farming / I. Shevchenko, E. Aliev // Annals of Warsaw University of Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), 2013. – № 61. – С. 41 – 49.
5. Алієв Е. Б. Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Алієв Ельчин Бахтияр огли. – Запоріжжя, 2012. – 177 с.
6. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
7. Кисельов О. В. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): Навчальний посібник / О. В. Кисельов, І. Б. Комарова, Д. О. Мілько., Р. О. Бакарджієв, 2017. – Запоріжжя: СТАТУС. – 1181 с.
8. ISO 3918. Milking machine installations. Vocabulary, 2007. – Geneva: The International Organization for Standardization.

References

- [1] Kartashov, L. (2011) *O kontrolyruemykh parametrah vakuumnoy systemy doylnoy ustanovky* [About controlled parameters of the vacuum system of the milking machine], 8 (127), 220 – 223. Orenburh: Vestnyk Orenburhskoho hosudarstvennoho unyversyteta [in Russian].
- [2] Fenenko, A. (2008) *Mekhanizatsiya doynnya koriv* [Mechanization of milking cows] Kyiv: Technika [in Ukrainian].
- [3] Shevchenko I. (2013) *Naukovo-metodychni rekomendatsiyi z bahatokryterialnoho vyrobnychoho kontrolyu doylnykh ustanovok* [Scientific and methodical recommendations on multi-criteria production control of milking installations] Zaporizhzhya: Aktsent Invest-treйд [in Ukrainian].
- [4] Shevchenko, I., Aliev, E. (2013) *Automated control systems for technical processes in dairy farming* Annals of Warsaw University of Sciences, 61, 41 – 49.
- [5] Aliyev, E. (2012) *Pidvyshchennya efektyvnosti ekspluatatsiyi vakuumnoyi systemy molochno-doyilnoho obladdannya* [Improving the efficiency of the operation of the vacuum system of milk-milking equipment] Zaporizhzhya [in Ukrainian].
- [6] Rumshiskiy L. (1971) *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta* [Mathematical processing of experimental results] Moscow: Nauka [in Russian]
- [7] Kyselov, O., Komarova, I., Milko, D., Bakardzhyeyev R. (2017) *Statystychna obrobka i oformlennya rezultativ eksperymen-talnykh doslidzhen (iz dosvidu napysannya dysertatsiynykh robit)* [Statistical processing and design of the results of experimental research (from the experience of writing dissertation papers)] Zaporizhzhya: Status [in Ukrainian]
- [8] ISO 3918. *Milking machine installations. Vocabulary* (2007). Geneva: The International Organization for Standardization.



ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВАКУУМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ПРОМЫВКИ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В научной статье на основе критического анализа известных технических средств для диагностики состояния доильного оборудования разработано устройство для измерения вакуумметрических параметров линии промывки доильной установки, по метрологическим показателям.

В результате исследования метрологических характеристик устройства для измерения вакуумметрических параметров линии промывки доильной установки было установлено, что уравнение, которым описывается калибровочная характеристика датчиков давления, входящих в состав разработанного устройства, совпадает с уравнением, приведенным в технической документации на датчики. Определены погрешность измерения давления в исследованном диапазоне. По результатам исследования нет оснований считать, что датчикам давления присущ эффект гистерезиса. В ходе исследований определены продолжительность фаз импульсов динамического давления и установлено, что величина погрешности не зависит от частоты пульсаций.

Ключевые слова: доильная установка, вакуум, давление, промывка, система, линия, требования.

Ф. 3. Рис. 2. Табл. 1. Лит. 8.

STUDY OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DEVICE FOR MEASURING THE VACUUMMETRIC PARAMETERS OF THE DRY LOADING LINE

In the scientific article on the basis of the critical analysis of the known technical means for diagnosing the state of the milking equipment, a device for measuring the vacuum-metric parameters of the line of washing of the milking plant, according to metrological indicators was developed.

As a result of the study of the metrological characteristics of the device for measuring the vacuum gauge parameters of the milking line washing line, it was established that the equation describing the gauge characteristic of the pressure sensors that are part of the developed device and coincides with the equation given in the technical documentation on the sensors. The measurement error of the measured range is determined. According to the results of the study, there is no reason to believe that the pressure sensors inherent in the effect of hysteresis. In the course of the research, the duration of the phases of the pulses of dynamic pressure was determined and it was established that the magnitude of the error does not depend on the frequency of pulsations.

Key words: milking installation, vacuum, pressure, washing, system, line, requirements.

F. 3. Fig. 2. Tab. 1. Ref. 8.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Бабин Ігор Анатолійович – асистент кафедри «Сільськогосподарських машин» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).

Бабин Игорь Анатольевич – ассистент кафедры «Сельскохозяйственных машин» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).

Babyn Ihor – Assistant of the Department “Agricultural Machinery” of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).