

ПРИЛАД ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ МОЛОКА

В статті розглянуто класифікацію витратомірів, методи вимірювання рідини на яких вони побудовані. Проведено вибір керуючого мікроконтролера, розроблено схему підключення датчика. Описано і розкрито суть використання ємнісного перетворювача для мікропроцесорного витратоміра повітряно – молочної суміші. Також розглянуто сучасні моделі витратомірів, які використовуються в теперішній час, зроблена їх порівняльна характеристика, наведено їх переваги та недоліки. Було розроблено схему електричну принципову.

Ключові слова: ємнісний витратомір, повітряно-молочна суміш

The article considers the classification of flowmeters, methods of measuring the liquid on which they are built. The control microcontroller is selected, the sensor connection diagram is developed. The essence of using a capacitive converter for a microprocessor flowmeter of an air-milk mix is described and revealed. Also the modern models of contemporarily used flowmeters are considered, their comparative characteristic is made, their advantages and deficiencies are presented. An electrical circuit diagram was developed.

Key words: capacitive flow meter, air-milk mixture

Вступ

В умовах бурхливого розвитку науки і техніки надзвичайно важливе значення в наш час має застосування сучасних прогресивних методів та засобів систем управління, контролю та вимірювання основних технологічних параметрів, зокрема, і в провідних галузях сільського господарства [1].

Сільське господарство – галузь господарства, завданням якої є забезпечення населення продовольством і отримання сировини для цілого ряду галузей промисловості. На відміну від промисловості, технологічний процес в сільському господарстві тісно пов'язаний з природою, де земля виступає в ролі головного засобу виробництва. Саме тому, ця галузь має більший вплив на природне середовище, ніж будь-яка інша галузь народного господарства. У сільськогосподарському виробництві зайнято близько половини економічно активного населення світу.

Молочне скотарство – провідна галузь тваринництва, що забезпечує значну частину валової продукції сільськогосподарського виробництва, повноцінне харчування населення, рівномірне надходження коштів протягом року, а також сприяє підвищенню родючості ґрунтів [2].

В Україні в 2018 році спостерігалось значне поліпшення якості молока, що надходить на переробні підприємства. Так, за 9 місяців 2018 року обсяги закупівлі молока екстра і вищого сорту зросли відповідно на 33,8% і 7,8%. У той же час, обсяги закупівлі молока I сорту скоротилися на 8,9%, а II сорту — на 15,1%.

Сьогодні молочний сектор демонструє позитивні результати, покращилася якість сировини, вперше за останні роки Україна увійшла в 10-ку світових лідерів з експорту молочної продукції [3].

Актуальність роботи. З огляду на сучасні тенденції розвитку обладнання для молочного тваринництва в процесі машинного доїння є вкрай актуальним питанням, без вирішення якого не можливо повною мірою реалізувати потенціал технологій точного тваринництва та забезпечити створення адаптивної доїльної апаратури.

На сьогодні широко використовуються механічні витратоміри об'ємного принципу дії (ковшового та поплавкового типів) та пропорційного відбору, їх недоліками є низький рівень дискретизації вимірювань потоку, значна похибка вимірювань при високій інтенсивності молоковіддачі, низька мобільність та ускладнене інтегрування у автоматичні системи. Також застосовуються датчики інфрачервоного принципу дії та датчики провідності, їх недоліки висока вартість та низька точність вимірювань. Відомий також термоанемометричний вимірювач потоку молока, недоліком якого є підвищене енергоспоживання, що важливо при застосуванні автономного енергоживлення. Разом з тим згадані вище параметри рідини (молока) можливо оцінити непрямыми методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. При цьому одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Як приклад, добре відоме використання ємнісних датчиків для контролю вологості матеріалів.

Метою дослідження є підвищення ефективності технології молока виведення під час доїння корів. Під ефективністю розглядається суттєве зменшення витрат молока в процесі машинного доїння корів.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішити ряд поставлених задач: визначити шляхи покращення технології молока виведення; провести літературний пошук витратомірів, визначити їх типи і характеристики та зробити обґрунтований вибір засобу; здійснити дослідження ємнісного датчика витратоміра; проаналізувати способи підключення та розробити схему електричну принципову витратоміра; підтвердити справедливність зроблених припущень, сформулювати задачі подальшого дослідження.

Об'єктом досліджень є процес удосконалення технології молоковиведення під час доїння корів, завдяки застосуванню мікропроцесорного ємнісного проточного витратоміра.

Предметом дослідження є мікропроцесорний ємнісний проточний витратомір, що використовує принцип зміни електричної ємності під дією водомісткої рідини, яка знаходиться між обкладинками електричного вимірювального конденсатора.

Методи дослідження – використано наступні методи: спостереження, експеримент, аналіз, синтез та узагальнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Представленим на ринку засобам моніторингу інтенсивності молоко виведення притаманна низка недоліків. Серійні зразки вітчизняних пристроїв на основі датчиків проточного типу відсутні, але дослідження з їх створення проводяться [4, 13]. Лідером ринку таких пристроїв є оптичні (інфрачервоні) сенсори типу FFS-30 виробництва SCR [5]. Ці ж сенсори у своєму обладнанні використовує світовий лідер із виробництва обладнання для молочного тваринництва – DeLaval [6]. Датчик виконано як трубку зі змінною формою перерізу (в зоні встановлення оптичної групи трубка має прямокутній переріз). Пристрій – компактний, не містить рухомих механічних частин і не створює механічних перешкод для вільного руху пульсуючого потоку молока.

Фірмою ВЕСО розроблено проточний датчик інтенсивності молоко виведення ємнісного принципу дії [7]. Характерною особливістю доїльної апаратури ВЕСО є значний внутрішній діаметр молоко провідного шланга доїльного апарата (22 мм на відміну від загально прийнятих 15–16 мм). До цього ж типу пристроїв належать проточні датчики інтенсивності молоко виведення від Panazoo [8].

Важливими є не лише контроль інтенсивності молоко виведення та облік індивідуального надою, але й визначення інших показників молока. Згадані вище параметри молока можливо оцінити непрямими методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. А проте одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Однак суттєва відмінність сигналу ємнісного датчика для різних фізичних проявів рідин (суцільне середовище, поверхнева плівка, піна [9]) і відсутність відповідних алгоритмів інтерпретації сигналу перешкоджають використанню ємнісних датчиків для контролю інтенсивності молоко виведення та обліку молока.

Для створення лічильника молока на основі проточного датчика ємнісного

типу слід врахувати наступні особливості: фізичний стан рідини – молока (найбільший вплив на електричні властивості датчика створюють: молоко як суцільне середовище, молочна піна, молочна плівка на стінках датчика); режим потоку молока (характерним є пульсуючий потік молока порціями, що повністю заповнюють переріз молокопроводного шлангу, але мають різну довжину та швидкість руху); певна відмінність електричних властивостей молока одержаного в різний період і від різних тварин, що впливають на сигнал датчика.

Основна частина

На сьогодні існує величезна кількість витратомірів, які використовують для комерційного і технологічного контролю потоків рідин, газу та пари.

Витрата речовини – це кількість речовини (рідини або газу), яка протікає через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу.

За вимірюваною величиною розрізняють об'ємні та масові витратоміри. За фізичними явищами, що покладені в роботу, витратоміри об'єму поділяють на механічні, механіки рідин і газів, електродинамічні, хвильові, а масові лічильники – на теплові і механічні. Згідно з принципом роботи до об'ємних механічних витратомірів належать тахометричні і осилювальні витратоміри, а до масових механічних – інерційні. За ефектами, що використовують, у тахометричних витратомірах можна виділити основні три групи: камерні (інші назви: діафрагмові або мембранні), турбінні і шарові [10]. Найчастіше використовують перші два види. Класифікація витратомірів зображена на рисунку 1.

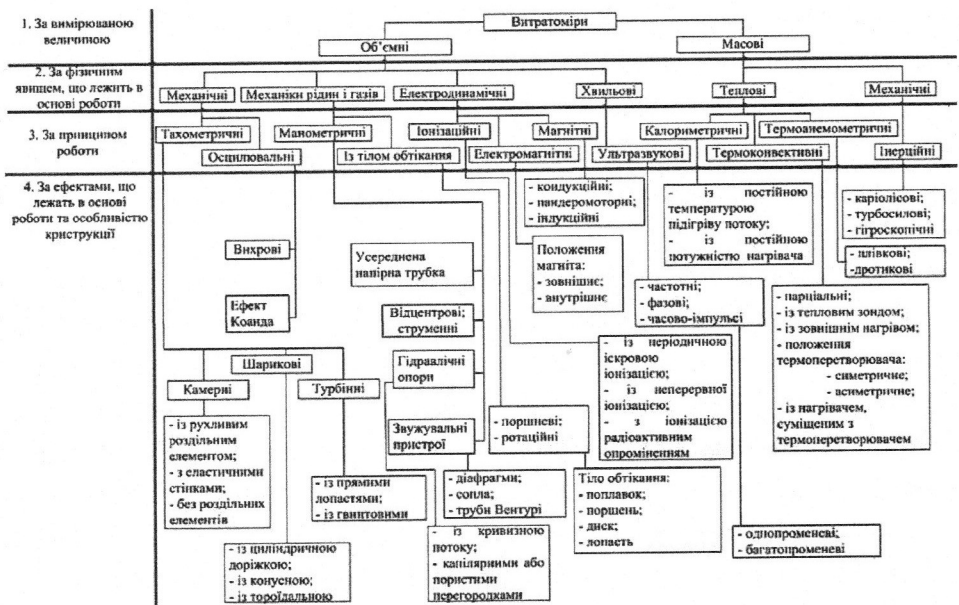


Рис. 1. Класифікація витратомірів

На сьогодні широко використовуються механічні лічильники об'ємного

принципу дії (ковшового та поплавкового типів) та пропорційного відбору, їх недоліками є низький рівень дискретизації вимірювань потоку, значна похибка вимірювань при високій інтенсивності молоковіддачі, низька мобільність та ускладнене інтегрування у автоматичні системи. Також застосовуються датчики інфрачервоного принципу дії та датчики провідності, їх недоліки висока вартість та низька точність вимірювань. Відомий також термоанемометричний вимірювач потоку молока [11], недоліком якого є підвищене енергоспоживання, що важливо при застосуванні автономного енергоживлення. Разом з тим згадані вище параметри рідини (молока) можливо оцінити непрямыми методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. При цьому одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Як приклад, добре відоме використання ємнісних датчиків для контролю вологості матеріалів. Відомі спроби застосування ємнісних датчиків для діагностування маститу тварин.

Принцип дії ємнісного датчика полягає у зміні електричної ємності під дією водомісткої рідини, яка знаходиться між обкладинками електричного вимірювального конденсатора (в літературі – «С-комірка»). Проте широкому застосуванню подібних датчиків, перешкоджають складні електрофізичні ефекти, що проявляються під час руху водомісткої рідини. І якщо вплив води на електромагнітні властивості водомістких речовин – в тому числі, молока, відносно добре досліджений та відображений у науковій літературі, то прояви цих властивостей у динамічних умовах залишились не вивченими.

Ємність плоского електричного конденсатора C , відповідно до елементарної теорії електротехніки, можливо визначити за формулою:

$$C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S) / d, \quad (1)$$

де ϵ_0 – абсолютна діелектрична проникність; ϵ – відносна діелектрична проникність; S – площа пластин, m^2 ; d – відстань між пластинами, m .

Цю формулу можливо переписати у формі:

$$C = \epsilon \cdot C_0, \quad (2)$$

де C_0 – ємність конденсатора з діелектриком – вакуумом, Φ .

У формулі (2) виділено основний характерний параметр, який буде розглядатися нижче – ϵ діелектрична стала діелектрика конденсатора. Як відомо, вода у рідкій формі має діелектричну проникність близько 81 одиниць. Далі за текстом «рідиною» будемо називати водні розчини або водні суміші, в яких електричні властивості визначаються, в основному, наявною в них водою. На рис. 2 показано конденсатор, що складається із двох обкладинок, закріпле-

них на трубіці, яка виготовлена з матеріалу із малим значенням ϵ (для пластмас, це близько 4 одиниць) та характеристика датчика, який використовувався у експериментах.

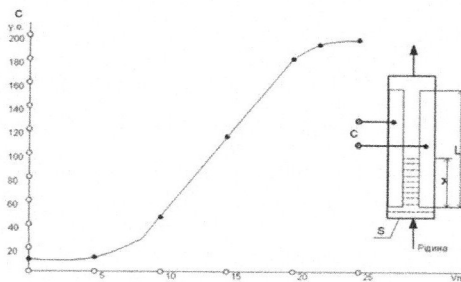


Рис. 2 Схема ємнісного датчика та його характеристики

де: S – площа перерізу датчика; L – довжина датчика; χ – ступінь заповнення датчика; V – об’єм рідини у датчику; C – електрична ємність.

Якщо конденсатор (рис. 2) заповнити водою у пропорції χ (далі – «наповненість датчика»), то електрична ємність такого конденсатора складе:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot C_0 \cdot \chi + \epsilon_0 \cdot C_0 \cdot (1 - \chi) = C_0 \cdot (\epsilon - 1) \cdot \chi + C_0, \quad (3)$$

де χ - наповненість датчика, число від 0 до 1.

Таким чином, вимірюючи ємність C можливо отримати інформацію про кількість рідини, або ступінь заповнення датчика. Виходячи з поставлених задач, було обрано генераторний метод вимірювання ємності. На рис. 3 наведено схему підключення датчика до електронної обчислювальної машини (ЕОМ).

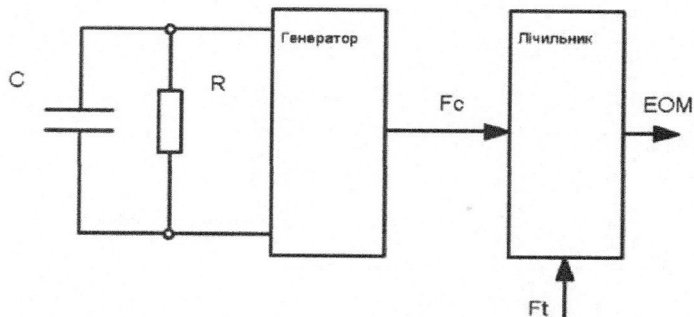


Рис. 3. Схема підключення датчика до мікропроцесора

В сучасній фізиці води розрізняють багато її станів [12], проте у даному випадку водний розчин (молоко) перебуває у двох станах – стан об’ємної рідини та стан пов’язаної рідини – «тонкої плівки». Фізичні властивості води у цих

двох станах суттєво різняться, тому вихідний сигнал датчика формується під впливом води у цих двох станах. На рис. 4 показані типові сигнали датчика під час проходження порції води для двох схем генераторів (з позитивним і негативним впливом втрат на частоту). Розглянемо докладніше сигнал на рис. 4а, він поводить ся так, наче до датчика додавалась від'ємна ємність, що пояснюється впливом діелектричних втрат в рідині і підтверджується характером сигналу на рис. 4б.

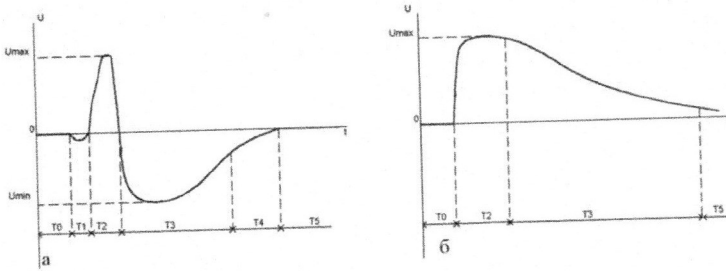


Рис.4 Сигнал проходження порції води крізь ємнісний датчик: а - генератор із позитивним впливом втрат на частоту; б - генератор із негативним впливом втрат на частоту

Враховуючи доволі тривалу фазу (T3, T4) відновлення сигналу (див. рис.4а) у порівнянні із часовими характеристиками самого сигналу (T2), можна зробити висновок, що дана фаза сигналу відповідає релаксації тонкої плівки рідини на стінках датчика після проходження основної порції рідини. Для використання ємнісного датчика, як лічильника молока необхідно відділити сигнал рідини в об'ємі від сигналу рідини в поверхневій плівці. Для цього використано схему з позитивним генератором. При цьому файл даних із сигналом проходження рідини записувався в пам'ять ЄОМ та будувалась булівська «строб-функція», яка кожному відліку сигналу ставить у відповідь значення «0» або «1», що означає «проігнорувати» або «обчислити» відповідно. Для побудови вказаної строб-функції використовувалась згортка сигналу з вейвлетом Хаара із вікном, що приблизно вдвічі перевищує середню тривалість проходження порції рідини. Такий спосіб побудови дає надійне розпізнавання позитивного та негативного фронтів сигналу.

Кількість рідини, що проходить крізь датчик за умови сталої швидкості потоку, можливо визначити із залежності:

$$M = v_0 \int_{t_2}^{t_1} p(t) \cdot dt, \quad (4)$$

де M – маса рідини, кг; $p(t)$ – функція наповненості датчика рідиною; v_0 – поточна швидкість рідини у датчику, м/с; t_1, t_2 – моменти часу, що задають інтервал виміру, с.

На рис.2 наведено статичну характеристику датчика, коли час між запо-

внення датчика та зчитуванням його сигналу відносно великий. У реальних умовах, коли крізь датчик рухається пульсуючий потік рідини від доїльного апарата (див. рис. 4), має місце утворення плівки рідини на його внутрішній поверхні. Зважаючи на доволі значний час руйнування плівки, у порівнянні з інтервалом проходження порцій рідини, можна прийняти припущення, що плівка умовно стабільна продовж усього періоду роботи доїльного апарата. При цьому для визначення динамічної характеристики датчика було проведено низку лабораторних експериментів. Під час експериментів враховано такі фактори, як, витрата рідини через молоко провідний шланг доїльного апарата, частота пульсації пульсатора, рівень робочого тиску доїльної установки, температура та тип (вода та молоко) рідини, тривалість доїння. Кількість рідини, що пройшла крізь датчик визначалась за формулою (4) та порівнювалась з фактичною кількістю у мензурі.

Електрична принципова схема мікропроцесорного ємнісного проточного витратоміра повітряно-молочної суміші наведена на рис. 5.

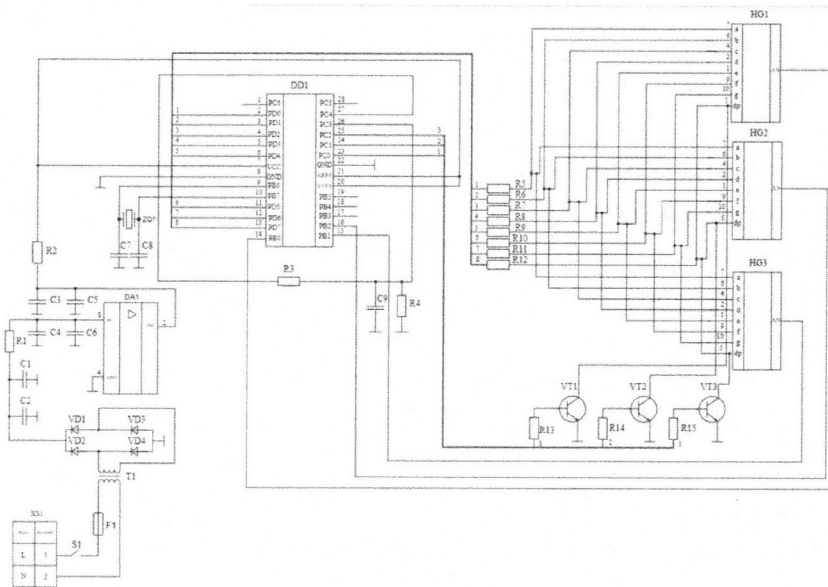


Рис.5 - Мікропроцесорний ємнісний проточний витратомір повітряно-молочної суміші

Основне енергоспоживання, як правило, мають індикаторні прилади, окрім рідкокристалевих, але їх використання у даному випадку недоцільне, так як прилад може використовуватись при невеликій освітленості. Тому використано світлодіодні семи сегментні індикатори.

Обираємо світлодіодні семи сегментні індикатори з низьким енергоспожи-

ванням фірми KINGBRIDGHT SA52-11LSRWA, які мають наступні електричні характеристики:

- номінальний струм – 2 мА
- яскравість при номінальному струмі – 500 мкКд
- колір – червоний
- довжина хвилі 530 нм

Для обчислення значення витрат рідини і виконання усіх функцій процесора обираємо AVR мікроконтролер ATmega8. Ця мікросхема має наступні характеристики:

- тактова частота до 10 МГц
- 8 КБ внутрішньої флеш пам'яті з можливістю 1000-разового перепрограмування
- 512 байт пам'яті даних з можливістю 100000-разового перепрограмування, 1 Кбайт встроєної SRAM
- 2 8-бітових таймер-лічильника
- 2 16-бітових таймер-лічильника
- 1 аналоговий компаратор
- вбудований синхронно-асинхронний прийомо-передавач
- струм споживання – 2.8 мА
- 23 програмованих ліній введення – виведення
- Напруга живлення 4,5-5,5 В
- Вбудований охоронний таймер з окремо вбудованим генератором.

Живлення пристрою здійснюється від мережі змінної напруги 220 В 50 Гц. Напруга живлення через вимикач S1, запобіжник F1 поступає на знижуючий трансформатор T1, який знижує її до 15В. За допомогою діодного моста на діодах VD2-VD5, змінна напруга випрямляється і поступає на вхід інтегрального стабілізатора напруги. Для живлення мікроконтролера необхідно використовувати стабілізовану напругу 5 В. Тому необхідно використовувати інтегральний стабілізатор напруги, який знизить випрямлену напругу до рівня 5 В і забезпечить стабілізоване живлення.

Для цієї мети можна використати інтегральний стабілізатор напруги фірми ANALOG DEVICES ADP3367ARZ. Цей інтегральний стабілізатор має наступні електричні характеристики :

- вхідна напруга від 2.5 В до 16.5 В
- вихідна напруга 5 В
- максимальний струм навантаження – 14 мА

- трьох вивідний корпус.

Висновки

В даній роботі розглянуто класифікацію витратомірів, методи вимірювання рідини, на яких вони побудовані.

На підставі аналізу викладеної інформації, було розглянуто лічильник молока для доїльного апарата на базі проточного датчика ємнісного типу, при цьому, в межах умов даної математичної моделі, результат обчислення обсягу молока не залежить від характеристик ємнісного датчика, а отже, і від електричних властивостей молока.

Проведено вибір керуючого мікроконтролера, розроблено схему підключення датчика, схему електричну-принципову.

Список використаної літератури

1. Васюра А.С. Элементы та пристрої систем управління і автоматики, Навч. посібн. // Вінниця, ВНТУ, 2013. – 157 с.
2. Сучасний стан молочної галузі [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.apk.sm.gov.ua/index.php/uk/2013-04-18-21-50-35/32-napryamki-diyalnosti/tvarinnitstvo/zagalna-kharakteristika-tvarinnitstva/45-suchasnij-stand-galuzi/>.
3. Milk.ua [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://milkua.info/uk/post/ukraina-uvijsla-v-top-10-svitovih-eksporteriv-molocnoi-produkcii/>.
4. Ткачук С. В., Ткач В. В. Обґрунтування принципу дії проточного датчика витрат молока ємнісного типу. Механізація та електрифікація сільськогосподарства: загальнодержавний зб.. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2016. Вип. 3 (102). С. 113–119.
5. Сенсори типу FFS-30 [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.scrdairy.com/milking-intelligence/freeflow-series.html>
6. DeLaval [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.delaval.ru/-/Product-Information1/Milking/Products/Milking-point/Milk-recording/MM25-SG/>.
7. Доїльна апаратура BECO [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.becoknows.com/>.
8. Panazoo [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.panazoo.it/mmcompact-plus.html/>.
9. Карташов Л. П. Динамика эмульсий в сложных закрытых каналах технологического оборудования. РИО УрО РАН, 2013.
10. ЭлектроТехИнфо: информационная торговая система [Електронний ресурс]: Тахометрические счетчики и расходомеры. Устройство, принцип

действия, типы и виды тахометрических счетчиков и расходомеров. – Режим доступа: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_527.html. – Назва з екрану.

11. Дмитрів В.Т. Обґрунтування параметрів вимірювача потоку молока в процесі машинного доїння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації».
12. Патент UA 62387. Спосіб вимірювання величини витрати на основі спектральних характеристик шуму вимірювального середовища / С.І. Мельничук (Україна).
13. Ткач В. В., Ткачук С. В. Теоретичні основи лічильника молока на базі проточного датчика ємнісного типу. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». ННЦ «ІМЕСГ». Вип. №7 (106), Глеваха, 2018. – С.110–116.