

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

КУЛАКОВ ПАВЛО ІГОРОВИЧ



УДК 631.3.05+637.11

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА**

05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Кучерук Володимир Юрійович,
Вінницький національний технічний
університет, м. Вінниця, завідувач кафедри
метрології та промислової автоматики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Порєв Володимир Андрійович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ,
завідувач кафедри наукових, аналітичних та
екологічних приладів і систем.

доктор технічних наук, доцент
Мартинюк Валерій Володимирович,
Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, завідувач кафедри
радіоелектронних апаратів та телекомунікацій.

доктор технічних наук, професор
Кошева Лариса Олександрівна,
Національний авіаційний університет,
м. Київ, професор кафедри біокібернетики та
аерокосмічної медицини.

Захист відбудеться « 01 » липня 2016 р. о 9-30 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті (21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95).

Автореферат розісланий « 30 » травня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради



К. В. Огородник

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми підвищення достовірності контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока (ТПВКМ).

Актуальність теми. Важливою особливістю ТПВКМ є те, що результати вимірювального контролю параметрів його складових елементів характеризують не тільки їх стан, а також стан інших складових елементів та ефективність ТПВКМ в цілому. Практично усі параметри ТПВКМ взаємокорельовані, але критеріальне оцінювання стану ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів за допомогою методів теорії імовірності являє собою надзвичайно складне завдання, яке не вирішено. Внаслідок цього, в багатьох випадках не вдається вчасно виявити відхилення стану складових елементів ТПВКМ від норми, прийняти заходи для його нормалізації. Виходячи з цього, актуальним завданням є створення критерію оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів з використанням інших методів. Також актуальною є розробка критерію оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів, використання якого дозволить здійснювати прогнозування стану ТПВКМ та його складових елементів. Параметри молоковіддачі тварини, які є важливою складовою комплексу параметрів ТПВКМ, мають певні особливості, які ускладнюють проведення їх вимірювального контролю з достатньою достовірністю за допомогою існуючих засобів. До таких особливостей відноситься значна нерівномірність потоку молока у процесі молоковіддачі, наявність піни, біологічні особливості тварин, складні умови проведення контролю, значний вплив якості промивання доїльного обладнання на достовірність контролю, людський фактор. Завдання створення засобів вимірювального контролю параметрів молоковіддачі, які мають достатню достовірність, у теперішній час повністю не вирішено. Також важливим та актуальним завданням, яке у теперішній час не розв'язане, є оперативне встановлення фактів фальсифікації молока на стійлових доїльних установках. Деякі параметри ТПВКМ, які певним чином характеризують стан його складових елементів, взагалі не контролюються, засоби вимірювального контролю цих параметрів відсутні. Ця обставина зумовлює необхідність розробки відповідних засобів вимірювального контролю. Певні параметри ТПВКМ змінюють своє нормальне значення протягом періоду лактації тварини, відповідно можуть змінюватися межі допуску при вимірювальному контролі таких параметрів. У теперішній час така зміна меж допуску у багатьох випадках не враховується, внаслідок чого зменшується достовірність вимірювального контролю. Існуючі методи оцінювання продуктивності доїльних установок та вимірювального контролю тривалості їх роботи базуються на використанні фіксованих часових нормативів проведення технологічних операцій, та не враховують тип доїльного апарата і специфічні особливості процесу підготовки тварини до доїння при різних варіантах ідентифікації тварин. Внаслідок цього достовірність вимірювального контролю тривалості роботи доїльних установок

та окремих доярів, що їх обслуговують, в більшості випадків недостатня для адекватного оцінювання якості стада та ефективності роботи доярів. Значний вплив на результати вимірювального контролю параметрів ТПВКМ має якість функціонування систем ідентифікації тварин. При виникненні помилок ідентифікації втрачається інформація про результати вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, які відносяться, як мінімум, до однієї тварини. У деяких випадках, наприклад, на групових доїльних установках, виникнення помилки ідентифікації призводить до втрати інформації про результати контролю параметрів ТПВКМ, які стосуються певної групи тварин. В сукупності, вищезазначені факти складають важливу науково-прикладну проблему та визначають актуальність теми дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до поточного та перспективного плану наукової роботи Вінницького національного технічного університету по тематиці подальшого розвитку методів та засобів вимірювального контролю, інформаційних технологій та вимірювальних систем. Теоретичні та експериментальні дослідження, результати яких отримані у дисертаційній роботі, виконувалися на кафедрі «Метрологія та промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету. Роботи проводилися відповідно прикладним дослідженням за рахунок видатків державного бюджету № 42-Д-374, номер державної реєстрації 0115U001124, «Методи та інформаційно-вимірювальні системи контролю зоотехнічних параметрів тварин та параметрів технологічних процесів у тваринницьких фермах». У виконанні даної роботи автор брав участь як відповідальний виконавець. Дослідження проводилися також відповідно до кафедральної науково-дослідної роботи кафедри «Метрологія та промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету № 42К1 «Інформаційно-вимірювальні системи зоотехнічних та технологічних параметрів доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм». Певні роботи виконувались сумісно з фахівцями підприємства ТОВ «Муссон» (м. Вінниця, Україна), у відповідності з договором про творчу співдружність № 1 від 27.04.2014 між ТОВ «Муссон» та Вінницьким національним технічним університетом, та фахівцями ТДВ "Брацлав" (с.м.т. Брацлав, Немирівський район Вінницької області, Україна).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення достовірності вимірювального контролю параметрів ТПВКМ за рахунок розробки нових та удосконалення існуючих методів та засобів контролю, створення нових критеріїв оцінювання стану ТПВКМ, удосконалення існуючих методів ідентифікації тварин.

Для досягнення поставленої мети при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Здійснити аналіз існуючих методів та засобів вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, систематизувати відомі теоретичні підходи, що покладено в основу їх побудови.

2. Розробити та обґрунтувати критерій оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів, та критерій оцінювання безпеки відхилення від норми стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів, що дозволить вчасно виявляти безпеку та факт відхилення стану складових елементів ТПВКМ від норми.

3. Удосконалити методи оцінювання та вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок при використанні різних типів доїльних апаратів та різних способів ідентифікації тварин, які забезпечують більш високу достовірність вимірювального контролю у порівнянні з існуючими та можуть бути використані для оцінювання та вимірювального контролю тривалості роботи окремих доярів.

4. Розробити нові методи, математичні моделі та побудувати відповідні засоби вимірювання та вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, які забезпечують вищу точність вимірювання та достовірність вимірювального контролю.

5. Розробити нові та покращити існуючі методи, засоби та алгоритми ідентифікації тварин на різних типах доїльних установок та при різних способах утримання тварин, що дозволить зменшити вплив помилок ідентифікації на результати вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

6. Здійснити аналіз основних метрологічних характеристик розроблених засобів вимірювання та вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

7. Провести експериментальні дослідження, що підтверджують адекватність розроблених моделей, ефективність запропонованих методів і створених на цій основі засобів вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

Об'єктом дослідження є процес вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

Методи дослідження. Теоретичне дослідження процесу роботи з твариною та процесу функціонування різних типів доїльних установок здійснювалося за допомогою методів теорії імовірності. Аналіз та дослідження похибок вимірювання розроблених засобів контролю параметрів ТПВКМ здійснювались у відповідності до теорії похибок вимірювання та обробки результатів експериментальних досліджень. Теоретичне дослідження показників достовірності вимірювального контролю параметрів ТПВКМ здійснювалося з використанням методів теорії вимірювального контролю. Теоретичне дослідження розроблених методів підвищення достовірності вимірювального контролю параметрів ТПВКМ здійснювалося з використанням методів оптимальної лінійної фільтрації та теорії інтерполяції даних.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему підвищення показників достовірності контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока

за рахунок розробки нових методів та засобів контролю, що реалізовано в отриманні наступних наукових результатів:

1. Вперше розроблено критерій кількісного оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів, що дозволило з високою імовірністю встановлювати відповідність між станом об'єкта та нормою.

2. Вперше розроблено критерій кількісного оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів, що дозволило прогнозувати виникнення відхилень стану складових елементів ТПВКМ від норми.

3. Вперше розроблено теоретичні засади оптичного методу оперативного вимірювального контролю відносної масової частки молока у потоці водно-молочного розчину, які базуються на вимірюванні інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке проходить крізь водно-молочний розчин, що дозволило оперативно контролювати наявність води у молоці та виявляти факти фальсифікації молока водою на стійлових доїльних установках.

4. Вперше запропоновано метод контролю кількості та часу користування тваринами чесальною установкою при їх безприв'язному утриманні, що дозволило автоматично виявляти тварин з зниженою активністю та підозрою на наявність шкірних захворювань і кліщів.

5. Отримали розвиток методи вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок, у яких, на відміну від існуючих, використано експериментально отримані диференційні функції розподілу загального часу роботи з тваринами при різних способах їх утримання, різних варіантах їх ідентифікації, використанні різних типів доїльних апаратів, та враховано встановлений в результаті проведених досліджень функціональний зв'язок між кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата, статистичними характеристиками тривалості роботи доїльних установок, тривалістю підготовки тварини, тривалістю видоювання тварини, що дозволило підвищити достовірність вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок з метою підвищення ефективності функціонування доїльно-молочних відділень ферм.

6. Удосконалено метод контролю проходження тварин на групових доїльних установках, у якому, на відміну від існуючих, застосована оптимальна лінійна фільтрація вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта, що дозволило підвищити точність підрахунку тварин у потоці та зменшити вплив помилок радіочастотної ідентифікації на результати контролю параметрів ТПВКМ.

7. Отримав розвиток метод вимірювального контролю електропровідності молока, у якому, на відміну від існуючих, забезпечується рівномірність електричного поля у міжелектродному проміжку вимірювального перетворювача та враховується залежність верхньої границі допуску контрольованого параметра від поточного дня лактації, що дозволило підвищити достовірність виявлення тварин з підозрою на захворюваність маститом.

8. Удосконалено порційний метод вимірювання параметрів молоковіддачі, у якому, на відміну від існуючих, застосовано вперше розроблений вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, принцип дії якого заснований на фотоелектричному перетворенні площнапруга, що дозволило зменшити похибку вимірювання та підвищити показники достовірності вимірювального контролю параметрів молоковіддачі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено та впроваджено у промислове виробництво засоби вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, які у порівнянні з відомими мають більш високі показники достовірності контролю та можуть функціонувати у автономному режимі та у складі інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ;

- розроблено і впроваджено у виробничий процес алгоритмічне та програмне забезпечення для засобів вимірювального контролю параметрів ТПВКМ та сервера інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів ТПВКМ, яке може бути використано на основних типах доїльних установок та при різних способах утримання тварин у доїльно-молочних відділеннях ферм;

- розроблено та впроваджено у промислове виробництво нові первинні вимірювальні перетворювачі параметрів ТПВКМ, на їх основі створено нові засоби вимірювання та вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, проведено їх експериментальне та теоретичне дослідження, створено методики обробки їх вихідних сигналів;

- розроблено методологію вимірювального контролю тривалості роботи доярів та основних типів доїльних установок при різних способах утримання тварин, проведено теоретичне дослідження показників достовірності вимірювального контролю, результати теоретичних досліджень підтверджено результатами експерименту;

- розроблено та впроваджено у виробництво двоконтурну ортогональну антену, за допомогою якої забезпечується зменшення помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час руху на групових і конвеєрних доїльних установках та селекційних воротах;

- запропоновано та впроваджено систему автоматичної радіочастотної ідентифікації тварин на стійлових доїльних установках з зовнішніми транспондерами, за допомогою якої забезпечується примусове виконання доярцем регламенту роботи доїльної установки;

- розроблено та впроваджено у виробництво прилад, у якому здійснюється контроль проходження тварини та підрахунок тварин у потоці з використанням оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта;

- розроблено та впроваджено у виробництво засоби, які забезпечують вимірювальний контроль кількості та часу користування тваринами чесальною установкою при їх безприв'язному утриманні.

Впровадження результатів роботи. Отримані у докторській дисертаційній роботі результати досліджень впроваджені у виробничий процес на таких підприємствах: ТДВ «Брацлав», с. м. т. Брацлав, Немирівський район Вінницької об-

ласті, Україна; СООО «Экомилк», м. Пінськ, Білорусь; ТОВ «Резон», с. м. т. Дослідницьке, Васильківський район, Київська область, Україна; ПП «Радівське», с. Радівка, Калинівський район Вінницької області, Україна; ПАТ «Літинський племзавод», с. Громадське, Літинський район Вінницької області, Україна; ТОВ НВП «Вестагротех», м. Рівне, Україна; ТОВ «Рівнеагромаш», м. Рівне, Україна; СФГ ім. Мічуріна, с. Зоряне, Ружинський район Житомирської області, Україна; ТОВ «Паллар ЛТД», м. Вінниця, Україна; ТОВ «Муссон», м. Вінниця, Україна; ТОВ «Золоті Луки», с. Паріївка, Іллінецький район Вінницької області, Україна; LTD «ЛЕКА», м. Тбілісі, Грузія; ДТОВ «Фіальт-Агро», м. Бендери, Придністровська Молдавська Республіка; ПСП «Камянка», с. Камянка, Попільнянський район Житомирської області, Україна. Окрім того, теоретичні, методологічні та технічні результати досліджень використовуються у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету при викладанні курсів «Метрологія та вимірювальна техніка», «Аналогові та цифрові вимірювальні прилади», «Інформаційно-вимірювальні системи».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором одноосібно. В роботах, опублікованих у співавторстві авторові належать: ідея методу статистичного оцінювання тривалості роботи доїльних установок та часу роботи з твариною, співвідношення, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльних установок, статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата [7, 8, 9, 13, 14, 16, 38, 40, 48]; ідея виявлення вмісту води у молоці на основі результатів вимірювання інтенсивності інфрачервоного випромінювання, потік якого проходить крізь водно-молочний розчин [2, 3, 28, 30, 31, 51, 52]; принцип реалізації примусового виконання доярем регламенту роботи на стійловій доїльній установці [18, 27, 36, 37, 58]; структурна схема системи ідентифікації тварин для чесальної установки, принцип вимірювання параметрів обертального руху щітки [49, 57]; ідея визначення інтенсивності молоковіддачі на основі результатів вимірювання швидкості руху бульбашок повітря у молоці, рівняння перетворення сенсора інтенсивності молоковіддачі [5, 33, 53, 54]; розрахунок помилок першого та другого роду вимірювального контролю при апроксимації законів розподілу функцією Іордана [6]; ідея способу інтерполяції спектральної характеристики фотодіода [11]; проведення експериментальних досліджень двоконтурної ортогональної антени системи радіочастотної ідентифікації тварин [12, 43]; ідея визначення параметрів молоковіддачі тварини на основі результатів вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, принципи реалізації вимірювальних перетворювачів рівня молока, їх математичні моделі, співвідношення для визначення похибок первинного вимірювального перетворення [10, 23, 34, 35, 39, 46, 47, 55, 56]; рівняння, яке зв'язує відносну масову частку молока у водно-молочному розчині, з вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач при проходженні крізь водно-молочний розчин інфрачервоного випромінювання [26, 45]; ідея вимірювання

загального та поточного удою доїльної установки, розрахунок похибки вимірювання загального удою [4, 29]; аналіз існуючих структурних схем засобів радіочастотної ідентифікації тварин у доїльно-молочних відділеннях ферм [15, 21]; аналіз причин виникнення помилок ідентифікації тварин, визначення ступеню їх впливу на результати вимірювального контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока, ідея використання оптимальної лінійної фільтрації для контролю проходження тварини [17, 22]; аналіз існуючих структурних схем засобів вимірювального контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока, узагальнена структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока [24, 25, 44].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: X науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 2003 р., м. Хмельницький; VII науково-технічна конференція «Контроль і управління у складних системах», 2003 р., м. Вінниця; I міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 2011 р., м. Вінниця; II міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 2013 р., м. Вінниця; III міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 2015 р., м. Вінниця; IV науково-практична конференція «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», 2013 р., м. Івано-Франківськ; XIII міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 2013 р., м. Одеса; XII міжнародна науково-технічна конференція «Контроль і управління в складних системах», 2014 р., м. Вінниця; IV Miedzynarodowa konferencja studentow oraz mlodych naukowcow «Inzynier XXI wieku», 2014, Bielsko-Biala; I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 2014 р., м. Харків; Всеукраїнська науково-технічна конференція «Technical Using of Measurement - 2015», 2015 р., с. м. т. Славське; Міжнародна науково-технічна конференція «Photonics ODS - 2015», 2015 р., м. Вінниця; Міжнародна науково-технічна конференція «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)», 2015 р., м. Черкаси; II міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 2015, м. Львів; XIV міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 2015, м. Одеса; VIII міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси», 2015, м. Київ; V міжнародна конференція студентів і молодих науковців «Сучасні інформаційні технології - 2015», 2015 р., м. Одеса; V науково-практична конференція «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», 2015 р., м. Івано-Франківськ; II Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 2015, м. Харків. Також результати дисертаційної роботи доповідались на наукових семінарах кафедри «Метрологія та

промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету та науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області.

Публікації. Основні положення дисертаційного дослідження опубліковані дисертантом самостійно та у співавторстві у 58 наукових працях, у тому числі у одній монографії (одноосібна), 26 статтях у наукових фахових виданнях (з них 2 одноосібних), 16 статтях у закордонних виданнях та наукових фахових виданнях України, які зареєстровані в міжнародних наукометричних базах, 31 публікації в інших виданнях (з них 4 одноосібних), таких як патенти України, матеріали і тези доповідей на конференціях.

Структура та загальний обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків по роботі, додатків та списку використаної літератури. Загальний обсяг дисертації складає 399 сторінок. Основний зміст викладено на 284 сторінках, який містить 106 рисунків та 3 таблиці. Список використаних джерел становить 260 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок обраного напрямку з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі досліджень, подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації за темою роботи та використання результатів досліджень.

У першому розділі проведено аналіз особливостей функціонування ТПВКМ, встановлено, що забезпечення якості взаємозв'язку між складовими елементами ТПВКМ в значній мірі залежить від достовірності контролю його параметрів. Виходячи з цього, розвиток теорії засобів і методів контролю параметрів ТПВКМ, спрямований на підвищення достовірності, є важливим та актуальним завданням. Здійснено аналіз параметрів ТПВКМ та особливостей їх контролю, виявлено причини, які зумовлюють недостатню точність існуючих засобів вимірювання та недостатню достовірність засобів контролю параметрів ТПВКМ. Проведено аналіз засобів контролю, які можуть виконувати функцію складових елементів інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ, розглянуто варіанти і умови їх застосування та принципи функціонування. На основі проведеного аналізу розроблено узагальнену структурну схему інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів ТПВКМ та класифікацію таких систем, здійснено аналіз їх функціонування. Проведено аналіз систем ідентифікації рухомих та нерухомих тварин для ТПВКМ, виявлено їх недоліки. На основі результатів проведеного аналізу розроблено класифікацію існуючих систем ідентифікації тварин для ТПВКМ. Здійснено огляд та аналіз засобів контролю параметрів ТПВКМ, які використовуються при прив'язному та безприв'язному утриманні тварин, розглянуто їх особливості. Сформульовано проблему підвищення достовірності контролю параметрів ТПВКМ, мету та задачі досліджень.

У другому розділі наведено результати отриманого в процесі дисертаційних досліджень розвитку теорії методів та засобів контролю параметрів ТПВКМ.

Розроблено критерій кількісного оцінювання стану складових елементів ТПВКМ, який визначається на основі результатів вимірювального контролю його параметрів. Впровадження розробленого з використанням цього критерію відповідного методу дозволило вчасно встановлювати факт наявності високої імовірності відхилень стану складових елементів ТПВКМ від норми, приймати відповідні міри для його нормалізації. Під час функціонування ТПВКМ виникають події, які негативно впливають на його ефективність. До таких подій відносяться захворюваність тварин, неякісне виконання персоналом своїх обов'язків, відмови технічних засобів тощо. Основною ознакою виникнення таких подій є негативний результат вимірювального контролю відповідних параметрів ТПВКМ. Для більшості варіантів відхилень від норми стану складових елементів ТПВКМ можна виділити множину параметрів, значення яких, при наявності відхилення, може не відповідати границям допуску. Пропонується кількісний критерій оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів, що визначається наступним чином. Під контрольованим параметром першого рівня розуміється такий параметр, невідповідність якого нормі є основною ознакою виникнення відхилення від норми стану складового елементу ТПВКМ. Нехай для виявлення відхилення стану складового елементу ТПВКМ від норми здійснюється вимірювальний контроль N_K параметрів, які корельовані з контрольованим параметром першого рівня. Під контрольованим параметром другого рівня розуміється той контрольований параметр, який має найбільше значення модуля коефіцієнту кореляції з контрольованим параметром першого рівня. Відповідно, контрольованим параметром i -го рівня є той контрольований параметр, який має i -те за величиною значення модуля коефіцієнту кореляції з контрольованим параметром першого рівня. Позначимо через $P_{K_1}, P_{K_2}, \dots, P_{K_i}, \dots, P_{K_{N_K}}$ результати вимірювального контролю параметрів 1, 2 ... i ... N_K рівня. Прийmemo, що якщо значення контрольованого параметра i -го рівня не відповідає нормі, то $P_{K_i} = 1$, якщо відповідає нормі – $P_{K_i} = 0$. Чисельне значення критерію оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів визначається за виразом

$$K_{PO} = \left(1 + |\rho_{K_{12}}| P_{K_2} + \dots + |\rho_{K_{ii}}| P_{K_i} + \dots + |\rho_{K_{1N_K}}| P_{K_{N_K}} \right) / \left(1 + |\rho_{K_{12}}| + \dots + |\rho_{K_{ii}}| + \dots + |\rho_{K_{1N_K}}| \right), \quad (1)$$

де $\rho_{K_{11}}, \rho_{K_{12}}, \dots, \rho_{K_{ii}}, \dots, \rho_{K_{1N_K}}$ – коефіцієнти кореляції між контрольованим параметром першого рівня та контрольованими параметрами 1, 2 ... i ... N_K рівня.

Чим більше значення критерію наближається до одиниці, тим вища імовірність наявності відповідного відхилення стану складових елементів ТПВКМ від норми. Від чисельного значення критерію залежить прийняття рішення стосовно заходів, спрямованих на усунення подій, що спричинили вищевказане відхилення стану.

Розроблено критерій оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових елементів ТПВКМ, який визначається на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів. Впровадження розробленого з використанням цього критерію відповідного методу дозволило здійснювати прогнозування виникнення відхилень стану складових елементів ТПВКМ від норми, приймати відповідні заходи для попередження відхилень. Для оцінювання небезпеки відхилення від норми певного параметра ТПВКМ запропоновано використати функцію

$$f_k(y) = 1 - f_\varepsilon(y) = 1 - \cos y / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2 y}. \quad (2)$$

Ця функція досягає максимального значення, яке дорівнює одиниці, при $y = \pm \pi/2$, а її мінімальне значення дорівнює нулю при $y = 0$, із зміною параметра ε_K в діапазоні $-1 < \varepsilon_K \leq \infty$ форма функції змінюється від практично прямокутної до дельта-функції Дірака. Номінальному значенню контрольованого параметра $p_{K i NOM}$ відповідає нульове значення змінної y функції (2). Значенню змінної $y = \pi/2$ функції (2) відповідає верхня границя допуску контрольованого параметра, яка визначається виразом

$$p_{K i MAX} = p_{K i NOM} + \Delta_{K i}, \quad (3)$$

де $\Delta_{K i}$ – допустиме відхилення контрольованого параметра.

Значенню змінної $y = -\pi/2$ функції (2) відповідає нижня границя допуску контрольованого параметра, яка визначається виразом

$$p_{K i MIN} = p_{K i NOM} - \Delta_{K i}. \quad (4)$$

Значення змінної ε_K функції (2) визначається на основі результатів експерименту та експертного оцінювання взаємозв'язку між результатами вимірювання параметрів ТПВКМ та імовірністю небезпеки їх виходу за межі допуску.

Для симетричного відносно номінального значення інтервалу границь допуску i -того контрольованого параметра ТПВКМ, залежність показника кількісного оцінювання небезпеки його відхилення від норми від результату його вимірювання визначається виразом

$$f_{K i}(p_{K i}) = \begin{cases} 1, & p_{K i} \in (-\infty; p_{K i MIN}) \cup (p_{K i MAX}; +\infty); \\ 1 - \cos(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2\Delta_{K i}) / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2\Delta_{K i})}, & p_{K i} \in [p_{K i MIN}; p_{K i MAX}]. \end{cases} \quad (5)$$

Залежність показника кількісного оцінювання небезпеки відхилення i -того параметра від норми від результату його вимірювання при асиметричному інтервалі границь допуску визначається виразом

$$f_{K i}(p_{K i}) = \begin{cases} 0, & p_{K i} = p_{K i NOM}; \\ 1, & p_{K i} \in (-\infty; p_{K i MIN}) \cup (p_{K i MAX}; +\infty); \\ 1 - \cos(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2k_a\Delta_{K i}) / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2k_a\Delta_{K i})}, & p_{K i} \in [p_{K i MIN}; p_{K i NOM}); \\ 1 - \cos(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2\Delta_{K i}) / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2(\pi(p_{K i} - p_{K i NOM})/2\Delta_{K i})}, & p_{K i} \in (p_{K i NOM}; p_{K i MAX}], \end{cases} \quad (6)$$

де k_a – коефіцієнт асиметрії.

При вимірювальному контролі параметрів ТПВКМ іноді існує тільки одна границя допуску – верхня або нижня. При наявності тільки верхньої границі,

параметр ТПВКМ відповідає нормі, якщо він не перевищує граничне значення $p_{K i MAX}$, тобто

$$\Delta_{K i} = p_{K i MAX} - p_{K i MIN M}, \quad (7)$$

де $p_{K i MIN M}$ – мінімальне можливе значення контрольованого параметра.

Якщо значення i -того контрольованого параметра знаходиться вище границі допуску, то оцінювання небезпеки відхилення його від норми дорівнює одиниці, а якщо його значення менше, ніж мінімальне значення контрольованого параметра, оцінювання небезпеки відхилення дорівнює нулю. Показник оцінювання небезпеки відхилення i -того параметра ТПВКМ від норми від результату його вимірювання, при наявності тільки верхньої границі допуску, визначається виразом

$$f_{K i}(p_{K i}) = \begin{cases} 0, & p_{K i} < p_{K i MIN M}; \\ 1, & p_{K i} > p_{K i MAX}; \\ 1 - \cos\left(\frac{\pi(p_{K i} - p_{K i MIN M})}{2(p_{K i MAX} - p_{K i MIN M})}\right) / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(p_{K i} - p_{K i MIN M})}{2(p_{K i MAX} - p_{K i MIN M})}\right)}, & p_{K i} \in [p_{K i MIN M}; p_{K i MAX}]. \end{cases} \quad (8)$$

При наявності тільки нижньої границі допуску, параметр ТПВКМ відповідає нормі, якщо він не менше, ніж граничне значення $p_{K i MIN}$, тобто

$$\Delta_{K i} = p_{K i MAX M} - p_{K i MIN}, \quad (9)$$

де $p_{K i MAX M}$ – максимальне можливе значення контрольованого параметра.

Якщо, значення i -того контрольованого параметра ТПВКМ знаходиться нижче границі допуску, то показник оцінювання небезпеки його відхилення від норми дорівнює одиниці, а якщо його значення більше, ніж максимальне можливе значення контрольованого параметра, показник оцінювання небезпеки відхилення дорівнює нулю. Показник оцінювання небезпеки відхилення i -того параметра ТПВКМ від норми від результату його вимірювання, при наявності тільки нижньої границі допуску, визначається виразом

$$f_{K i}(p_{K i}) = \begin{cases} 0, & p_{K i} > p_{K i MAX M}; \\ 1, & p_{K i} < p_{K i MIN}; \\ 1 - \cos\left(\frac{\pi(p_{K i} - p_{K i MAX M})}{2(p_{K i MAX M} - p_{K i MIN})}\right) / \sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(p_{K i} - p_{K i MAX M})}{2(p_{K i MAX M} - p_{K i MIN})}\right)}, & p_{K i} \in [p_{K i MIN}; p_{K i MAX M}]. \end{cases} \quad (10)$$

Критерій небезпеки відхилення стану ТПВКМ від норми на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів визначається за виразом

$$K_{PN} = a_1 f_{K 1}(p_{K 1}) + a_2 f_{K 2}(p_{K 2}) + \dots + a_i f_{K i}(p_{K i}) + \dots + a_{N_K} f_{K N_K}(p_{K N_K}) = \sum_{i=1}^{N_K} a_i f_{K i}(p_{K i}), \quad (11)$$

де $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{N_K}$ – вагові коефіцієнти, значення яких визначається на основі результатів експериментальних досліджень та експертної оцінки взаємозв'язку та взаємного впливу параметрів ТПВКМ при виникненні небезпеки подальшого відхилення від норми стану його елементів. Чисельне значення запропонованого критерію може змінюватися від нуля до одиниці, чим більше його значення на-

ближається до одиниці, тим вища імовірність виникнення відхилення стану складових елементів ТПВКМ від норми. Тип відхилення визначається контрольованим параметром першого рівня.

Вперше розроблено теоретичні засади оптичного методу оперативного вимірювального контролю відносної масової частки молока у потоці водно-молочного розчину, які базуються на вимірюванні інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке проходить крізь водно-молочний розчин, що дозволило оперативно контролювати наявність води у молоці та виявляти факти фальсифікації молока водою на стійлових доїльних установках. Метод оперативного вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині заснований на функціональній залежності поглинання інфрачервоного випромінювання водно-молочним розчином, від відносної масової частки молока у ньому. Вимірявши інтенсивність інфрачервоного випромінювання, яке пройшло крізь водно-молочний розчин, та знаючи інтенсивність випромінювання, яке падає на нього, за відповідною функціональною залежністю визначається відносна масова частка молока. Відповідно до закону Бугера-Ламберта-Бера, інтенсивність оптичного випромінювання, що проходить крізь розчин, з відносною масовою часткою молока у розчині зв'язана співвідношенням

$$I = I_0 \cdot 10^{-d\rho_M\rho_V(k_M(\lambda)+k_V(\lambda)(1/\eta-1))/(\rho_V+\rho_M(1/\eta-1))}, \quad (12)$$

де I – інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь розчин; I_0 – інтенсивність випромінювання, яке падає на розчин; d – товщина шару розчину; $k_M(\lambda)$ – коефіцієнт екстинкції молока; $k_V(\lambda)$ – коефіцієнт екстинкції води; ρ_M – щільність молока; ρ_V – щільність води; η – відносна масова частка молока у водно-молочному розчині; λ – довжина хвилі оптичного випромінювання.

Залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині визначається виразом

$$U_F(\eta) = I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD} \cdot 10^{-d\rho_M\rho_V(k_M(\lambda)+k_V(\lambda)(1/\eta-1))/(\rho_V+\rho_M(1/\eta-1))}, \quad (13)$$

де $S_{I_0}(\lambda)$ – інтегральна струмова чутливість фотодіоду; S_{VD} – площа фоточутливого шару фотодіоду, що освітлюється; R_{ZZ} – опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

Вирішивши рівняння (13) відносно η , отримуємо вираз, який зв'язує відносну масову частку молока у водно-молочному розчині з вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач.

$$\eta = \frac{\rho_M \lg(U_F(\eta)/I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}) + d\rho_M\rho_V k_V(\lambda)}{(\rho_M - \rho_V) \lg(U_F(\eta)/I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}) + d\rho_M\rho_V (k_V(\lambda) - k_M(\lambda))}. \quad (14)$$

На рис. 1 наведено сімейство визначених за виразом (13) теоретичних залежностей вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині при різних значеннях інтенсивності випромінювання, що падає на розчин.

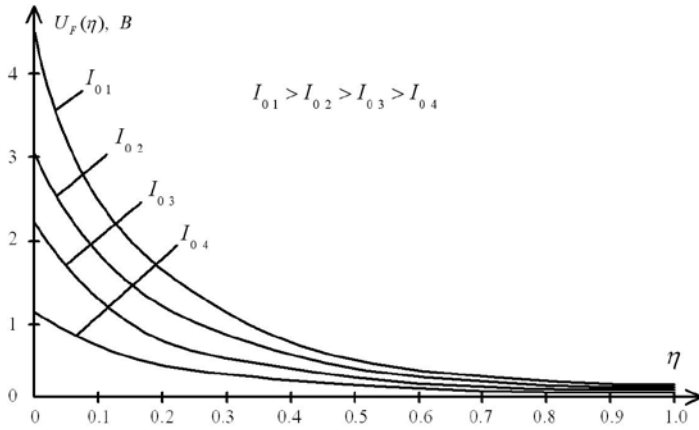


Рисунок 1 – Залежності вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині при різних значеннях інтенсивності випромінювання, що падає на розчин

Водно-молочний розчин відноситься до речовин з значним ступенем поглинання інфрачервоного випромінювання в ближній ділянці спектру. Є очевидним, що чутливість запропонованого методу буде максимальною на тій довжині хвилі, на якій відношення коефіцієнту пропускання води до коефіцієнту пропускання молока буде максимальним. У цьому випадку забезпечується максимальне зменшення поглинання інфрачервоного випромінювання молоком за рахунок наявності води. Для визначення оптимальної довжини хвилі інфрачервоного випромінювання проведено інтерполяцію спектральних характеристик пропускання молока та води кубічними сплайнами. Відношення інтерполюючих функцій спектральних характеристик пропускання молока та води визначається виразом

$$K_{PRMV}(\lambda) = \begin{cases} \left(\frac{a_{iV} + b_{iV}(\lambda - \lambda_1) + c_{iV}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{iV}(\lambda - \lambda_1)^3}{a_{iM} + b_{iM}(\lambda - \lambda_1) + c_{iM}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{iM}(\lambda - \lambda_1)^3} \right), \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ \left(\frac{a_{2V} + b_{2V}(\lambda - \lambda_2) + c_{2V}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2V}(\lambda - \lambda_2)^3}{a_{2M} + b_{2M}(\lambda - \lambda_2) + c_{2M}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2M}(\lambda - \lambda_2)^3} \right), \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ \left(\frac{a_{N-1V} + b_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^3}{a_{N-1M} + b_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^3} \right), \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (15)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ – абсциси вузлів кубічних сплайнів; $a_{iV}, b_{iV}, c_{iV}, d_{iV}$ – коефіцієнти сплайнів, що інтерполюють спектральну характеристику пропускання води; $a_{iM}, b_{iM}, c_{iM}, d_{iM}$ – коефіцієнти сплайнів, що інтерполюють спектральну характеристику пропускання молока.

На оптимальній довжині хвилі інфрачервоного випромінювання виконується співвідношення

$$K_{PRMV}(\lambda_{OPT}) = \max_{[\lambda_1, \lambda_N]} K_{PRMV}(\lambda). \quad (16)$$

Таким чином, знаходження оптимальної довжини хвилі зводиться до вирішення стандартного завдання визначення максимуму функції (15). Запропонований метод визначення відносної масової частки молока у водно-молочному розчині застосовано для виявлення фактів фальсифікації молока доярами на стійлових доїльних установках.

Отримав розвиток метод вимірювального контролю електропровідності молока, у якому, на відміну від існуючих, враховується залежність верхньої границі допуску контрольованого параметра від поточного дня лактації, що дозволило підвищити достовірність виявлення тварин з підозрою на захворюваність маститом. Протягом доїння електропровідність молока здорової тварини може змінюватись у декілька разів, окрім того її значення залежить від температури. З

метою зменшення впливу вищевказаних факторів на достовірність контролю, доцільним є проведення вимірювального контролю середнього значення питомої електропровідності молока при контрольній температурі за час доїння. Протягом доїння проводиться N_{MC} одночасних вимірювань миттєвих значень питомої електропровідності молока $\chi_{M\ i}, \chi_{M\ i+1} \dots \chi_{M\ N_{MC}}$ та поточної температури молока $T_{PM\ i}, T_{PM\ i+1} \dots T_{PM\ N_{MC}}$ в певні моменти часу $t_i, t_{i+1} \dots t_{N_{MC}}$, після чого визначаються відповідні миттєві значення питомої електропровідності молока $\chi_{M0\ i}, \chi_{M0\ i+1} \dots \chi_{M0\ N_{MC}}$ при контрольній температурі. Середнє за час доїння значення питомої електропровідності молока при контрольній температурі, при використанні цифрового інтегрування за методом трапецій інтерполюючої кусочно-лінійної функції, визначається виразом

$$\chi_{M0S} = \left(\frac{1}{2} (t_{N_{MC}} - t_1) \right) \sum_{i=1}^{N_{MC}-1} \left((\chi_{M0\ i+1} + \chi_{M0\ i}) / (t_{i+1} - t_i) \right). \quad (17)$$

Значення електропровідності молока у здорових тварин з різних чвертей вимені різко змінюється в залежності від дня лактації, найбільш значне збільшення електропровідності молока відбувається у першій та останній місяці лактації. Іноді виникає ситуація, коли електропровідність молока здорової тварини на першому та останньому місяці лактації виходить за межі допуску, внаслідок чого приймається помилкове рішення про наявність маститу. У існуючих засобів контролю електропровідності автоматично не враховується її залежність від дня лактації, внаслідок цього зменшується достовірність вимірювального контролю. З метою збільшення достовірності діагностики маститу за результатами вимірювального контролю середнього за час доїння значення питомої електропровідності молока при контрольній температурі, пропонується встановлювати верхню межу допуску пропорційною відношенню нормального значення електропровідності у певний день першого або останнього місяця лактації до середнього значення електропровідності у період з другого по дев'ятий місяць лактації включно. У необхідний день першого або останнього місяця лактації $s_{LC\ 1,10}$ визначається нормальне, середнє за час доїння значення питомої електропровідності молока при контрольній температурі $\chi_{LC}(s_{LC\ 1,10})$. Середнє значення електропровідності молока при контрольній температурі, у період з другого по дев'ятий місяць лактації включно, визначається за виразом

$$\chi_{LCS} = \left(1 / (s_{NL2} - s_{NL1}) \right) \int_{s_{NL1}}^{s_{NL2}} \chi_{LC}(s_{LC}) ds_{LC}, \quad (18)$$

де s_{NL1} – номер першого дня другого місяця лактаційного періоду; s_{NL2} – номер останнього дня дев'ятого місяця лактаційного періоду; s_{LC} – номер поточного дня лактації у період з другого по дев'ятий місяць лактації включно.

Верхня границя допуску значення питомої електропровідності молока визначається за виразом

$$\chi_{M\ max\ 1,10} = k_{LC} \chi_{M\ max} \chi_{LC}(s_{LC\ 1,10}) / \chi_{LCS}, \quad (19)$$

де k_{LC} – поправочний коефіцієнт; $\chi_{M \max}$ – верхня границя допуску значення питомої електропровідності молока у період з другого по дев'ятий місяць лактації включно.

Поправочний коефіцієнт визначається на основі статистичної обробки результатів вимірювання середнього за час доїння значення питомої електропровідності молока при контрольній температурі здорових та хворих на мастит тварин, які знаходяться на першому та останньому місяцях лактації.

Удосконалено порційний метод вимірювання параметрів молоковіддачі, застосовано вимірювальні перетворювачі рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, що дозволило зменшити похибку вимірювання та підвищити достовірність вимірювального контролю параметрів молоковіддачі.

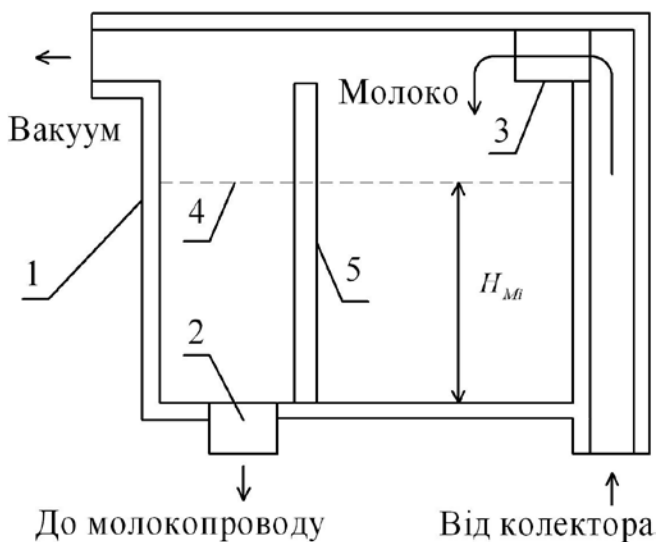


Рисунок 2 – Конструкція молокоприймальної камери: 1 - корпус камери; 2 - зливний електроклапан; 3 – піновідділювач; 4 - рівень молока; 5 – вимірювальний перетворювач рівня рідини

Під дію пульсуючого вакууму, молоко з колектора всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У цій камері розташований первинний вимірювальний перетворювач рівня рідини та зливний електроклапан. В процесі доїння рівень молока в молокоприймальній камері збільшується. Після досягнення певного рівня відкривається зливний клапан і накопичене в камері молоко скидається у молокопровід. В залежності від інтенсивності молоковіддачі

встановлюється рівень, при якому здійснюється скидання порції молока. Об'єм i -тої порції молока перед скиданням визначається виразом

$$V_{Mi} = S_M H_{Mi}, \quad (20)$$

де H_{Mi} – рівень молока в камері перед скиданням i -тої порції; S_M – площа дна молокоприймальної камери.

Разовий удій тварини визначається виразом

$$V_R = S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi} = \sum_{i=1}^{N_M} V_{Mi}, \quad (21)$$

де N_M – кількість порцій молока, скинутих в молокопровід на протязі тривалості доїння однієї тварини.

Середня інтенсивність молоковіддачі I_{MS} визначається як відношення разового удою до тривалості доїння t_D

$$I_{MS} = \frac{V_R}{t_D} = \frac{S_M}{t_D} \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi} = \frac{1}{t_D} \sum_{i=1}^{N_M} V_{Mi}. \quad (22)$$

Інтенсивність молоковіддачі протягом перших тридцяти секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{30} = \frac{1}{T_{30}} S_M \left(H_{M30} + \sum_{i=1}^{N_{M30}} H_{Mi} \right), \quad (23)$$

де T_{30} – часовий інтервал тривалістю тридцять секунд; H_{M30} – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на тридцяту секунду після початку доїння; N_{M30} – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на тридцяту секунду після початку доїння

Інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{60} = \frac{S_M}{T_{30}} \left(H_{M60} - H_{M30} + \sum_{i=1}^{N_{M60}} H_{Mi} - \sum_{i=1}^{N_{M30}} H_{Mi} \right), \quad (24)$$

де H_{M60} – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на шістдесяту секунду після початку доїння; N_{M60} – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на шістдесяту секунду після початку доїння.

Інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{90} = \frac{S_M}{T_{30}} \left(H_{M90} - H_{M60} + \sum_{i=1}^{N_{M90}} H_{Mi} - \sum_{i=1}^{N_{M60}} H_{Mi} \right), \quad (25)$$

де H_{M90} – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на дев'яносту секунду після початку доїння; N_{M90} – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на дев'яносту секунду після початку доїння.

Миттєва інтенсивність молоковіддачі є першою похідною удою за часом, час цифрового диференціювання у цьому випадку значно менший, ніж час, за який у молокоприймальній камері формується порція молока. Відповідно, миттєва інтенсивність молоковіддачі визначається за виразом

$$I_{MV} = S_M (H_{M2} - H_{M1}) / (t_2 - t_1), \quad (26)$$

де H_{M1} , H_{M2} – відповідно рівень молока у камері в моменти часу t_1 та t_2 .

Час припуску молока T_p визначається як час після початку доїння, за який удій тварини склав 100 г, він не повинен бути більшим 20 с. Відповідно, через 20 с після початку доїння вимірюється об'єм молока у молокоприймальній камері. Об'єм молока, який відповідає 100 г ваги, визначається за виразом

$$V_{M100} = S_M H_{M100}, \quad (27)$$

де H_{M100} – рівень молока у молокоприймальній камері, відповідний 100 г ваги.

Якщо виміряне у цей момент часу значення об'єму молока більше або дорівнює V_{M100} , вважається, що час припуску відповідає нормі.

Отримали розвиток методи статистичного оцінювання тривалості роботи доїльних установок, у яких, на відміну від існуючих, використано експериментально отримані диференційні функції розподілу часу підготовки та часу видоювання тварини при різних способах утримання, різних варіантах ідентифікації, використанні різних типів доїльних апаратів, та враховано встановлений в результаті досліджень функціональний зв'язок між кількістю тварин, кількістю до-

ільних апаратів, типом доїльного апарата, статистичними характеристиками тривалості роботи доїльних установок, тривалості підготовки тварини, тривалості видоювання тварини, що дозволило підвищити достовірність вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок з метою підвищення ефективності функціонування доїльно-молочних відділень ферм.

В результаті проведених досліджень встановлено, що часовий інтервал підготовки тварини до доїння має хі-квадрат розподіл як при прив'язному утриманні тварин, так і при безприв'язному. Математичне очікування M_{PD} та дисперсія D_{PD} тривалості підготовки тварини до доїння змінюються в залежності від необхідних технологічних операцій, які визначаються особливостями доїльної установки, методом ідентифікації, способом утримання тварин.

При використанні доїльного апарата без функції управління процесом доїння, після підготовки тварини дояр запускає доїльний апарат, який протягом випадкового часу некерованого доїння t_{DN} здійснює видоювання тварини. Через деякі проміжки часу дояр візуально оцінює поточний стан процесу доїння і за певними ознаками робить висновок про необхідність його завершення. В результаті проведених досліджень часу t_{DN} встановлено, що цей інтервал має гамма-розподіл, його математичне очікування визначається виразом

$$M_{TD} = m(l+1), \quad (28)$$

де m_{DN} , l_{DN} – параметри гамма-розподілу часового інтервалу t_{DN} .

Дисперсія часу t_{DN} визначається виразом

$$D_{TD} = m_{DN}^2 (l_{DN} + 1). \quad (29)$$

При використанні доїльного апарата з функцією управління процесом доїння, після підготовки тварини дояр запускає доїльний апарат, який протягом детермінованого часу t_S здійснює стимуляцію вимені. Після закінчення цієї фази відбувається перехід до фази некерованого доїння, яка триває детермінований час t_{FND} . Після цього здійснюється перехід до фази керованого доїння, під час якої вимірюється інтенсивність молоковіддачі, і, в залежності від її значення, встановлюється частота і шпаруватість пульсацій вакууму. Фаза керованого доїння має випадкову тривалість t_{DK} . Після того, як відбулося зниження інтенсивності молоковіддачі нижче певного рівня, відбувається перехід до фази додоювання, під час якої протягом детермінованого часу t_M здійснюється масаж вимені. В результаті проведених досліджень часу t_{DK} встановлено, що цей часовий інтервал має гамма-розподіл. При використанні доїльного апарата з функцією управління процесом доїння, математичне очікування тривалості видоювання тварини визначається виразом

$$\dot{I}_{TD} = t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK}(l_{DK} + 1), \quad (30)$$

де m_{DK} , l_{DK} – параметри гамма-розподілу часового інтервалу t_{DK} .

Дисперсія тривалості видоювання тварини при використанні доїльного апарата з функцією управління процесом доїння визначається виразом

$$D_{TD} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (31)$$

На основі проведених досліджень встановлено співвідношення, на основі яких визначаються математичне очікування та дисперсія тривалості роботи основних типів доїльних установок. Математичне очікування тривалості роботи стійлової доїльної установки визначається за виразом

$$M_{TDS} = R_S M_{PD} + N_S M_{TD} / Z_S, \quad (32)$$

де Z_S – кількість доїльних апаратів, що використовуються; N_S , R_S – параметри, які визначаються за виразами

$$N_S = \begin{cases} K_S, \{K_S/Z_S\} = 0; \\ Z_S ([K_S/Z_S] + 1), \{K_S/Z_S\} \neq 0, \end{cases} \quad (33)$$

$$R_S = \begin{cases} Z_S, \{K_S/Z_S\} = 0; \\ Z_S \{K_S/Z_S\}, \{K_S/Z_S\} \neq 0, \end{cases} \quad (34)$$

де K_S – кількість тварин у доїльній групі стійлової доїльної установки.

Дисперсія тривалості роботи стійлової доїльної установки визначається виразом

$$D_{TDS} = R_S D_{PD} + N_S D_{TD} / Z_S. \quad (35)$$

Математичне очікування тривалості доїння групової доїльної установки визначається виразом

$$M_{TDG} = K_{GD} M_{IN} + M_{INO} + K_{GD} M_{OUT} + M_{OUTO} + M_{PD} (K_{GD} Z_D + K_{NGD}) + M_{TD} (K_{GD} + 1), \quad (36)$$

де M_{IN} , M_{OUT} – відповідно математичне очікування часу входу та виходу тварин; M_{INO} , M_{OUTO} – відповідно математичне очікування часу входу та виходу останньої групи тварин; Z_D – кількість доїльних станків з однієї сторони установки; K_{GD} – кількість групових доїнь; K_{NGD} – кількість тварин у останній групі.

Кількість групових доїнь визначається за виразом

$$K_{GD} = [K_V / Z_D], \quad (37)$$

де K_V – максимальна кількість тварин, доїння яких здійснюється одним доярем, визначається виразом

$$K_V = \begin{cases} K_T / 2, \{K_T / 2\} = 0; \\ (K_T + 1) / 2, \{K_T / 2\} \neq 0, \end{cases} \quad (38)$$

де K_T – загальна кількість тварин в стаді.

Кількість тварин в останній групі визначається виразом

$$K_{NGD} = Z_D \{K_V / Z_D\}. \quad (39)$$

Дисперсія тривалості роботи групової доїльної установки визначається за виразом

$$D_{TDG} = K_{GD} D_{IN} + D_{INO} + K_{GD} D_{OUT} + D_{OUTO} + D_{PD} (K_{GD} Z_D + K_{NGD}) + D_{TD} (K_{GD} + 1), \quad (40)$$

де D_{IN} , D_{OUT} – відповідно дисперсія часу входу та виходу тварин; D_{INO} , D_{OUTO} – відповідно дисперсія часу входу та виходу останньої групи тварин.

Математичне очікування тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками визначається виразом

$$M_{TDPP} = \begin{cases} (M_{IN} + M_{OUT} + M_{TD}) K_{VPP} / 2 + (K_{VPP} / 2 + 1) M_{PD}, \{K_V / 2\} = 0; \\ (M_{IN} + M_{PD} + M_{OUT} + M_{TD}) K_{VPP} / 2, \{K_{VPP} / 2\} \neq 0, \end{cases} \quad (41)$$

де K_{VPP} – максимальна кількість тварин, доїння яких здійснюється одним доярем, визначається виразом

$$K_{VPP} = \begin{cases} K_T/N_D, \{K_T/N_D\} = 0; \\ 1 + [K_T/N_D], \{K_T/N_D\} \neq 0, \end{cases} \quad (42)$$

де N_D – кількість доярів, які працюють на доїльній установці.

Дисперсія тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками визначається виразом

$$D_{TDPP} = \begin{cases} (D_{IN} + D_{OUT} + D_{TD})K_{VPP}/2 + (K_{VPP}/2 + 1)D_{PD}, \{K_{VPP}/2\} = 0; \\ (D_{IN} + D_{PD} + D_{OUT} + D_{TD})K_{VPP}/2, \{K_{VPP}/2\} \neq 0. \end{cases} \quad (43)$$

Математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем» визначається виразом

$$M_{TDT} = \begin{cases} (K_{VT}/Z_D)(M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + (K_{VT}/Z_D + Z_D - 1)M_{PD}, \{K_{VT}/Z_D\} = 0; \\ ([K_{VT}/Z_D] + Z_D)(M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + M_{PD}([K_{VT}/Z_D] - 1 + Z_D(2 - \{K_{VT}/Z_D\})), \{K_{VT}/Z_D\} \neq 0, \end{cases} \quad (44)$$

де K_{VT} – максимальна кількість тварин, доїння яких здійснюється одним доярем на доїльній установці «Тандем», визначається виразом

$$K_{VT} = \begin{cases} [K_T/2] + 1, \{K_T/2\} \neq 0; \\ K_T/2, \{K_T/2\} = 0. \end{cases} \quad (45)$$

Дисперсія тривалості роботи доїльної установки «Тандем» визначається виразом

$$D_{TDT} = \begin{cases} (K_{VT}/Z_D)(D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + (K_{VT}/Z_D + Z_D - 1)D_{PD}, \{K_{VT}/Z_D\} = 0; \\ ([K_{VT}/Z_D] + Z_D)(D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + D_{PD}([K_{VT}/Z_D] - 1 + Z_D(2 - \{K_{VT}/Z_D\})), \{K_{VT}/Z_D\} \neq 0. \end{cases} \quad (46)$$

Математичне очікування тривалості роботи конвеєрної доїльної установки визначається виразом

$$M_{TDC} = M_{PD} + M_{TD} + M_{OUT} + M_{IN}K_T. \quad (47)$$

Дисперсія тривалості роботи конвеєрної доїльної установки визначається виразом

$$D_{TDC} = D_{PD} + D_{TD} + D_{OUT} + D_{IN}K_T. \quad (48)$$

Функцію розподілу тривалості роботи усіх вищевказаних доїльних установок можна вважати нормальною на підставі першої граничної теореми.

Проведено аналіз впливу помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час руху на результати вимірювального контролю параметрів ТПВКМ. Встановлено, що внаслідок виникнення помилок ідентифікації, імовірність втрати даних про групу тварин на одній стороні групової доїльної установки при існуючих способах побудови систем ідентифікації є високою. Отримано співвідношення, за допомогою яких виявляється група тварин на групових доїльних установках, результати вимірювального контролю параметрів якої є недостовірними. При використанні селекційних воріт, на конвеєрних доїльних установках з ідентифікацією рухомих тварин, на автоматичних вагових платформах з ідентифікацією рухомих тварин внаслідок виникнення помилок ідентифікації втрачається інформація тільки про не ідентифіковану тварину, що не призводить до таких негативних наслідків, як на групових доїльних установках.

У третьому розділі проведено розробку нових та вдосконалено існуючі засоби контролю параметрів ТПВКМ.

Запропоновано систему радіочастотної ідентифікації рухомих тварин з двоконтурною ортогональною антеною для групових доїльних установок. Сімейство екіпотенціальних кривих поля зчитувача транспондерів з цією антеною та варіанти орієнтації транспондера наведено на рис. 3. Головною причиною відсутності зчитування коду в одноконтурних системах є ортогональне розташування площин антен транспондера і зчитувача. Контур антени А (рис. 3) розташований вздовж руху тварини, а контур В являє собою рамку, через яку тварина проходить. При будь-якому куті орієнтації транспондера в процесі пересування він обов'язково потрапляє в робочу зону контуру А або контуру В.

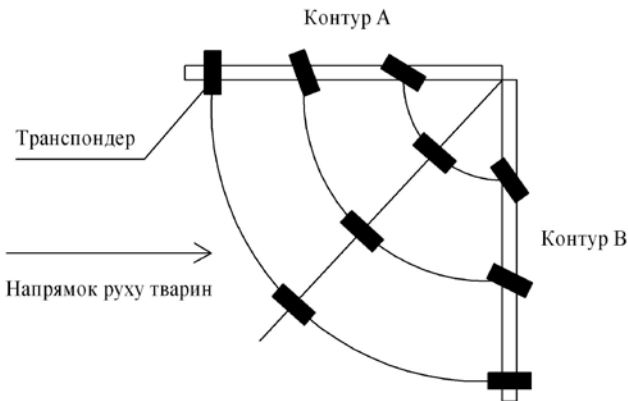


Рисунок 3 – Сімейство екіпотенційних кривих поля зчитувача транспондерів з двоконтурною ортогональною антеною та варіанти орієнтації транспондера

збільшився з 89,1% до 99,7%. Випадки помилок ідентифікації, характерні для одноконтурної системи, не спостерігались. Основними чинниками помилок ідентифікації при використанні двоконтурної антени є велика зона можливого вертикального і горизонтального положення голови тварини, а також довільний кут просторової орієнтації транспондера. В результаті впровадження двоконтурної антени значно зменшується кількість помилок ідентифікації тварин, внаслідок чого збільшується достовірність вимірювального контролю параметрів ТПВКМ.

Створено метод та систему радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки, за допомогою якої ідентифікація здійснюється автоматично з мінімальною участю дояра, забезпечується алгоритм актуалізації бази даних тварин в автоматизованому режимі, забезпечується примусове виконання доярем регламенту роботи. Внаслідок впровадження такої системи підвищується ефективність роботи доїльно-молочного відділення тваринницької ферми. У розробленій системі кожний блок забезпечення процесу доїння обладнаний інтегрованим зчитувачем транспондерів малої відстані. Транспондер закріплюється не на тварині, а на місцях встановлення блоків забезпечення процесу доїння, навпроти стійлових місць. Взаємне розташування транспондера та зчитувача транспондерів таке, що забезпечується паралельна орієнтація їх індуктивних антен та мінімальна відстань між ними. В результаті забезпечується автоматичне зчитування коду транспондера з максимальною достовірністю, внаслідок цього підвищується достовірність контролю параметрів ТПВКМ за рахунок мінімізації кількості помилок ідентифікації.

Для виявлення помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час руху на

сутності зчитування коду в одноконтурних системах є ортогональне розташування площин антен транспондера і зчитувача. Контур антени А (рис. 3) розташований вздовж руху тварини, а контур В являє собою рамку, через яку тварина проходить. При будь-якому куті орієнтації транспондера в процесі пересування він обов'язково потрапляє в робочу зону контуру А або контуру В. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що відсоток успішних зчитувань кодів транспондерів, у порівнянні з одноконтурною антеною,

групових доїльних установках запропоновано метод та засіб контролю проходження тварини з використанням оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта. Для контролю проходження тварин використовуються ультразвукові або оптичні сенсори, принцип дії яких заснований на перериванні потоку випромінювання. Рух тварин у потоці має випадковий характер, вони можуть зупинятися, штовхатися, рухатись у зворотному напрямку, здійснювати хаотичні рухи, рухатись у напрямку, що перпендикулярний напрямку потоку, присідати, піднімати або опускати голову. Виходячи з цього, вихідний сигнал сенсора можна розглядати як суміш двох сигналів – корисного імпульсного сигналу $s_M(t)$, та випадкового некорельованого імпульсного сигналу $s_N(t)$. Контроль проходження тварини здійснюється шляхом виявлення сигналу $s_M(t)$. Некорельована імпульсна послідовність $s_N(t)$ має рівномірний енергетичний спектр, що дає підстави розглядати її як білий шум. При проходженні тварини корисний вихідний сигнал сенсора являє собою прямокутний імпульс певної тривалості T_C , яка залежить від швидкості руху і довжини тварини. На рис. 4 наведено структурну схему лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю T_{OPT} , а на рис. 5 – часові діаграми його роботи при різних значеннях тривалості вихідного імпульсу сенсора.



Рисунок 4 – Структурна схема лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю T_{OPT}

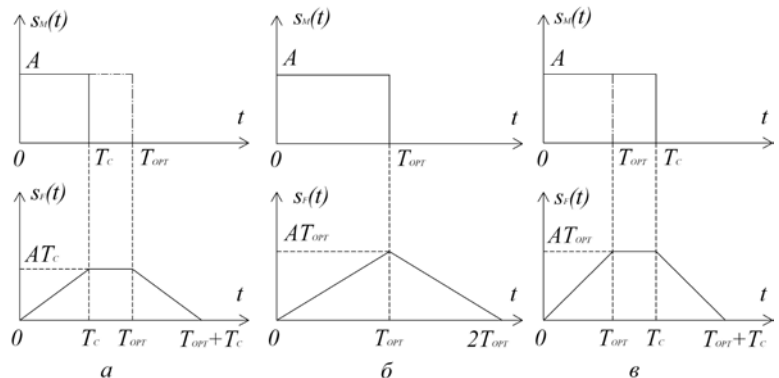


Рисунок 5 – Часові діаграми роботи оптимального лінійного фільтра при різних значеннях тривалості імпульсу сенсора:

а) $T_C < T_{OPT}$; б) $T_C = T_{OPT}$; в) $T_C > T_{OPT}$

Пікове значення вихідного сигналу наведеного оптимального лінійного фільтра визначається виразом

$$s_{F OPT} = A \cdot T_{OPT}, \quad (49)$$

де A – амплітуда імпульсу на виході сенсора наявності об'єкта.

Якщо $T_C < T_{OPT}$, вихідний сигнал фільтра не досягає свого пікового значення, що свідчить про відсутність проходження тварини. Якщо $T_C = T_{OPT}$, вихідний сигнал оптимального фільтра досягає свого пікового значення, співвідношення сигнал-шум у цьому випадку максимальне та визначається виразом

$$R_{SN MAX} = A \cdot T_{OPT} / \sigma_N, \quad (50)$$

де σ_N – середньоквадратичне значення шумового сигналу на виході оптимального фільтра.

Якщо $T_C > T_{OPT}$, вихідним сигналом оптимального фільтра є трапецеподібний сигнал, його амплітуда визначається виразом (49), а співвідношення сигнал-шум – виразом (50). Таким чином, при проведенні контролю проходження тварини для досягнення максимального значення відношення сигнал-шум необхідно забезпечити виконання співвідношення

$$T_{OPT} = T_{C MIN}, \quad (51)$$

де $T_{C MIN}$ – мінімальний час проходження тварини.

Факт досягнення вихідним сигналом оптимального лінійного фільтра свого пікового значення є ознакою проходження однієї тварини. При проходженні декількох тварин у потоці з суміщенням, коли $T_C > T_{OPT}$, кількість тварин, що пройшли визначається співвідношенням

$$n_C = [T_C / T_{CM}], \quad (52)$$

де T_{CM} – математичне очікування тривалості проходження однієї тварини.

В результаті проведених експериментів встановлено, що при використанні оптимальної лінійної фільтрації кількість виявлених помилок ідентифікації складає 80 - 90 %, що перевищує показники існуючих засобів. Внаслідок впровадження розробленого засобу забезпечується збільшення точності підрахунку тварин, в результаті підвищується достовірність контролю параметрів ТПВКМ на групових доїльних установках.

Запропоновано функцію, за допомогою якої забезпечується інтерполяція спектральної характеристики будь-яких фотодіодів. Проведено удосконалення існуючої математичної моделі фотоелектричного вимірювального перетворення площа-напряга та фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач шляхом урахування характеру спектральної характеристики фотодіоду з використанням запропонованої інтерполюючої функції. Характер спектральної характеристики фотодіода залежить від великої кількості факторів та фізичному аналізу не піддається, актуальним є знаходження функції придатної для її математичного опису. Спектральна характеристика фотодіода має дзвоноподібну форму, дорівнює нулю при певних значеннях довжини хвилі, може бути симетричною та асиметричною, при чому коефіцієнт асиметрії може бути меншим і більшим нуля. Для інтерполяції спектральної характеристики фотодіода як базова була обрана функція

$$g(x) = x^{a-1}(1-x)^{b-1}, \quad (53)$$

де a, b – певні чисельні параметри функції, від співвідношення яких залежить асиметрія її графіка.

Якщо $a > b$, коефіцієнт асиметрії менший нуля і максимум функції (53) зміщений вліво, якщо $a < b$, коефіцієнт асиметрії більший нуля і максимум функції (53) зміщений вправо. У випадку, якщо $a = b \neq 1$, то функція (53) симетрична.

Отримана інтерполююча функція спектральної характеристики фотодіода має вигляд

$$S_{I0}(\lambda) = S_{I0}(\lambda_0) \times \left(\lambda_0 / \lambda_{MAX} \left(1 - \lambda_0 / \lambda_{MAX} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1} \right)^{-1} \left(\frac{\log \frac{S_{I0}(\lambda_0)}{S_{I0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX} - \lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1}}{\lambda_0} \right)^{-1} \times \quad (54)$$

$$\times \left(\lambda / \lambda_{MAX} \right)^{-1} \left(\frac{\log \frac{S_{I0}(\lambda_0)}{S_{I0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX} - \lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1}}{\lambda_0} \right)^{-1} \times \left(1 - \lambda / \lambda_{MAX} \right)^{-1} \left(\frac{\log \frac{S_{I0}(\lambda_0)}{S_{I0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX} - \lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1}}{\lambda_0} \right)^{-1},$$

де λ_{MAX} – гранична довжина хвилі оптичного випромінювання, при якій значення спектральної характеристики дорівнює нулю; λ_0 – довжина хвилі оптичного випромінювання, при якій інтегральна струмова чутливість фотодіода максимальна; λ_{MIN} – мінімальне значення довжини хвилі оптичного випромінювання.

Розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, принцип дії якого заснований на фотоелектричному вимірювальному перетворенні площа-напруга. За його допомогою забезпечується вимірювання параметрів молоковіддачі з більш високою точністю, ніж при використанні інших існуючих вимірювальних перетворювачах цих параметрів. Вимірювальний перетворювач рівня молока (рис. 6, а) складається з N_F фотоприймачів на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. Фотодіоди розташовані так, що рівень верхньої межі діафрагми кожного фотодіода співпадає з рівнем нижньої межі діафрагми наступного фотодіода. Навпроти кожного фотодіода знаходиться випромінювач, вихідні сигнали фотоприймачів на основі пари фотодіод-операційний підсилювач $U_{F1}, U_{F2}, U_{F3} \dots U_{FN_F}$ надходять на вхід мультиплексора МХ (рис. 6, б), за допомогою якого здійснюється послідовне під'єднання цих сигналів до входу аналого-цифрового перетворювача $\wedge/\#$.

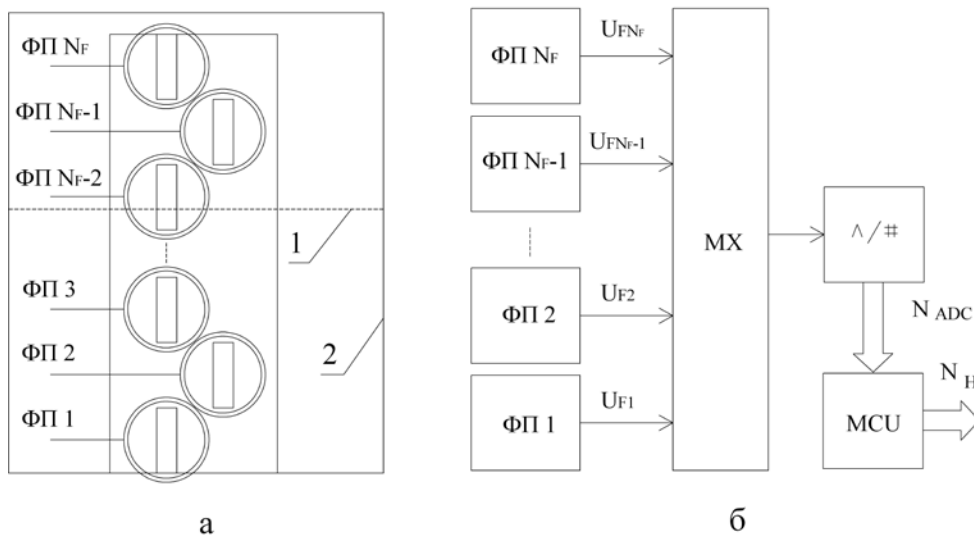


Рисунок 6 – Фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата: а) схематичне креслення; б) структурна схема; 1 – рівень молока; 2 – молокоприймальна камера; ФП – фотоприймач

Результат перетворення вихідної напруги кожного фотоприймача у вигляді коду N_{ADC} передається до порта введення мікроконтролера MCU . На основі отриманих даних мікроконтролер здійснює розрахунок рівня молока і подає результат вимірювання у вигляді коду N_H .

Вираз, за допомогою якого визначається разовий удій тварини

$$V_R = S_M \sum_{j=1}^{N_M} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right), \quad (55)$$

де m_j – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком у момент скидання j -тої порції; $U_{F_{m_j j}}$ – вихідна напруга m_j -го фотоприймача у момент скидання j -тої порції; L – висота діафрагм перед фотоприймачами; D – ширина діафрагм перед фотоприймачами; R_{ZZ} – опір в колі зворотного зв'язку фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач.

Вираз, за допомогою якого визначається середня інтенсивність молоковіддачі

$$I_{MS} = \frac{S_M}{t_D} \sum_{j=1}^{N_M} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right). \quad (56)$$

Вираз, за яким визначається інтенсивність молоковіддачі протягом перших тридцяти секунд після початку доїння

$$I_{30} = \frac{S_M}{T_{30}} \left(m_{30} L - \frac{U_{F_{m_{30}}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} + \sum_{j=1}^{N_{M30}} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right) \right), \quad (57)$$

де m_{30} – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком на тридцятій секунді після початку доїння; $U_{F_{m_{30}}}$ – вихідна напруга m_{30} -го фотоприймача на тридцятій секунді після початку доїння.

Вираз, за яким визначається інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння

$$I_{60} = \frac{S_M}{T_{30}} \left(L(m_{60} - m_{30}) + \frac{U_{F_{m_{30}}} - U_{F_{m_{60}}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} + \sum_{j=1}^{N_{M60}} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right) - \sum_{j=1}^{N_{M30}} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right) \right), \quad (58)$$

де m_{60} – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком на шістдесятій секунді після початку доїння; $U_{F_{m_{60}}}$ – вихідна напруга m_{60} -го фотоприймача на шістдесятій секунді після початку доїння.

Вираз, за яким визначається інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння

$$I_{90} = \frac{S_M}{T_{30}} \left(L(m_{90} - m_{60}) + \frac{U_{F_{m_{60}}} - U_{F_{m_{90}}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} + \sum_{j=1}^{N_{M90}} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right) - \sum_{j=1}^{N_{M60}} \left(m_j L - \frac{U_{F_{m_j j}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right) \right), \quad (59)$$

де m_{90} – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком на дев'яностах секунді після початку доїння; $U_{F_{m_{90}}}$ – вихідна напруга m_{90} -го фотоприймача на дев'яностах секунді після початку доїння.

Вираз, за яким визначається миттєва інтенсивність молоковіддачі

$$I_{MV} = \frac{S_M}{t_2 - t_1} \left(L(m_2 - m_1) + \frac{U_{F m_1} - U_{F m_2}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right). \quad (60)$$

де m_1 – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком у момент часу t_1 ; $U_{F m_1}$ – вихідна напруга m_1 -го фотоприймача у момент часу t_1 ; m_2 – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком у момент часу t_2 ; $U_{F m_2}$ – вихідна напруга m_2 -го фотоприймача у момент часу t_2 .

Об'єм молока, що відповідає ста грамам його ваги, який необхідний для контролю часу припуску, визначається виразом

$$V_{M100} = S_M \left(m_{100}L - \frac{U_{F m_{100}}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \right), \quad (61)$$

де m_{100} – номер фотоприймача, діафрагма якого частково закрита молоком у момент часу, коли удій склав сто грамів; $U_{F m_{100}}$ – вихідна напруга m_{100} -го фотоприймача у момент часу, коли удій склав сто грамів.

Розроблено вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом на основі магнітоактивних елементів, та фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом. Принцип дії перетворювача на основі магнітоактивних елементів полягає в наступному. У молокоприймальній камері у вертикальному напрямку, один за одним розташовано N_{LM} магнітоактивних елементів. В процесі доїння рівень молока збільшується, поплавок з магнітом змінює своє вертикальне положення у відповідності з рівнем молока. Коли певний магнітоактивний елемент знаходиться в безпосередній близькості від магніту з поплавком, змінюється його вихідний логічний рівень. Логічними рівнями вихідних сигналів перетворювачів $n_1 - n_{N_{LM}}$ утворюється код N_{HM} , який має N_{LM} розрядів, значення якого визначає вертикальне положення поплавка, нижня границя якого збігається з рівнем молока у молокоприймальній камері. Рівень j -ї порції молока, при використанні вимірювального перетворювача з дискретним вихідним сигналом на основі магнітоактивних елементів, визначається виразом

$$H_{Mj} = \begin{cases} (k_{LM} - 1)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 1; \\ (k_{NM} - 1/2)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 2, \end{cases} \quad (62)$$

де k_{LM} – номер біту коду N_{HM} , який знаходиться в стані логічної одиниці, коли в активному стані знаходиться тільки один магнітоактивний елемент; k_{NM} – номер того з двох бітів коду N_{HM} , що знаходяться в стані логічної одиниці при активному стані двох магнітоактивних елементів, який має менше значення.

Максимальне значення похибки квантування вимірювального перетворювача рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом на основі магнітоактивних елементів визначається виразом

$$\Delta_{LM K} = q_{LM} / 2 = h_{LM} / 4. \quad (63)$$

Принцип дії фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом полягає в наступному. У молокоприймальній камері, в герметичних прозорих трубках, у вертикальному напрямку, один за одним розташовано N_{LF} інфрачервоних світлодіодів та фототранзисторів. При збільшенні рівня молока в процесі доїння відбувається перекриття молоком fotocутливого шару фототранзисторів, в результаті потік інфрачервоного випромінювання на нього не попадає. Фототранзистори працюють у ключовому режимі, при попаданні на їх fotocутливий шар певного потоку інфрачервоного випромінювання, на виході транзисторного ключа формується рівень логічного нуля, в протилежному випадку – рівень логічної одиниці. Відповідно, на виході тих транзисторних ключів, фототранзистори яких закриті молоком, присутні рівні логічної одиниці, на виході усіх інших ключів – рівні логічного нуля. Таким чином, вихідні сигнали транзисторних ключів утворюють розряди $n_1 - n_{N_{LF}}$ вихідного коду N_{HF} перетворювача, який має N_{LF} розрядів і значення якого визначає рівень молока у молокоприймальній камері. Фототранзистори мають висоту fotocутливого шару d_{TK} , відстань від нижньої границі fotocутливого шару першого з низу фототранзистора до дна молокоприймальної камери дорівнює $d_{TK}/2$. Схемотехнічно, транзисторні ключі на основі фототранзисторів реалізовані так, що зміна вихідного стану ключа з логічного нуля в логічну одиницю відбувається при зменшенні світлового потоку в два рази. Рівень j -ї порції молока у молокоприймальній камері, при використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока з дискретним вихідним сигналом, визначається виразом

$$H_{Mj} = d_{TK} \sum_{i=1}^{N_{LF}} n_i . \quad (64)$$

Таким чином, максимальне значення похибки квантування фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом визначається виразом

$$\Delta_{LF K} = q_{LF}/2 = d_{TK}/2 . \quad (65)$$

Вищевказані перетворювачі призначені для використання на стійлових доїльних установках у складі переносних доїльних апаратів та забезпечують необхідну точність вимірювального перетворення для цих умов. На функціонування перетворювача на основі магнітоактивних елементів не впливає забрудненість молокоприймальної камери, але він має рухомі частини, що зменшує надійність його роботи. Фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом рухомих частин не має, але на його функціонування може впливати забрудненість молокоприймальної камери.

На стійлових установках отримане від кожної тварини у лінії молоко накопичується в дозаторах, які знаходяться у кінці кожної лінії. Після того, як в дозаторі накопичується порція молока визначеного об'єму, спрацьовує автоматичний зливний клапан і порція транспортується в автоматичну мішалку або холодильну установку. Заробітна плата доярам нараховується у

відповідності з кількістю порцій молока, що сформував дозатор, і які підраховуються спеціальними лічильниками порцій молока. Розповсюдженим явищем на стійлових доїльних установах є фальсифікація молока водою з метою завищення показників удою. Розглянемо функціональну схему розробленого лічильника порцій молока для стійлової доїльної установки з використанням оптимальної лінійної фільтрації та функцією виявлення води у молоці, яка наведена на рис. 7.



Рисунок 7 – Функціональна схема лічильника порцій молока для стійлової доїльної установки з використанням оптимальної лінійної фільтрації та функцією виявлення води у молоці

До складу лічильника входить сенсор проходження порції, який являє собою трубку, через яку здійснюється зливання порції молока, що сформована дозатором. У трубці знаходиться джерело інфрачервоного випромінювання, навпроти нього знаходиться фотодіод, який входить до складу фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. При проходженні порції виникають флуктуації вихідної напруги фотоприймача, що зумовлені стіканням крапель молока та наявністю піни і бульбашок повітря, тобто у корисному сигналі присутня шумова складова. Виходячи з цього, вихідний сигнал порогового пристрою 1 $U_{PP}(t)$ можна розглядати як суміш двох сигналів – корисного прямокутного імпульсу та випадкового некорельованого імпульсного сигналу. Контроль проходження порції молока здійснюється шляхом виявлення корисного прямокутного імпульсу на фоні шумового сигналу. Випадкову імпульсну послідовність можна вважати некорельованою та такою, що має рівномірний енергетичний спектр в певній смузі частот, що дає підстави розглядати її як білий шум. Виходячи з наявності випадкової складової вихідного сигналу фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, для підвищення достовірності контролю проходження через сенсор порції молока використовується оптимальна лінійна фільтрація, за допомогою якої забезпечується максимізація відношення сигнал-шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу. Вихідна напруга фотоприймача $U_F(t)$, рівень якої залежить від вмісту води у молоці, за допомогою порогових пристроїв порівнюється з опорними напругами U_{REF1} та U_{REF2} . Значення напруги U_{REF1} наближене до значення вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний

підсилювач при відсутності порції молока. При проходженні молока крізь сенсор, незалежно від наявності у ній води, відбувається переривання потоку інфрачервоного випромінювання. В результаті, на виході порогового пристрою 1 змінюється логічний рівень, який поступає на вхід оптимального лінійного фільтра, за допомогою якого забезпечується контроль проходження порції. При використанні оптимальної лінійної фільтрації точність підрахунку порцій молока збільшується майже на 30 % у порівнянні з відомими аналогами. Напруга $U_{REF\ 2}$ відповідає певному значенню масової частки молока у водно-молочному розчині. Якщо вихідна напруга фотоприймача при проходженні порції молока більша, ніж $U_{REF\ 2}$, але менша ніж $U_{REF\ 1}$, це свідчить про наявність факту фальсифікації молока водою з метою завищення показників удою. У цьому випадку на виході порогового пристрою 2 логічний рівень під час проходження порції не змінюється. У випадку виявлення факту фальсифікації, візуалізується відповідний сигнал за допомогою засобу відображення інформації.

Вимірювальний контроль кількості разів та тривалості користування чесальною установкою певним чином характеризує стан тварини. Відхилення кількості та тривалості користувань від норми може свідчити про наявність у тварини певних захворювань. Збільшення тривалості та кількості користувань чесальною установкою вище нормованого значення свідчить про імовірність наявності у тварини шкірних захворювань, кліщів або стану «охоти». Зменшення тривалості та кількості користувань чесальною установкою нижче нормованого значення може бути ознакою захворювання тварини, її поганого самопочуття, наявності стресу. Для вимірювального контролю вищевказаних параметрів конкретних тварин необхідно здійснювати їх ідентифікацію. На рис. 8 наведено запропоновану структурну схему системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для чесальної установки. До складу системи входять два зчитувача транспондерів



Рисунок 8 – Структурна схема системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для чесальної установки

рів середньої або великої відстані. При використанні зчитувача великої відстані допускається будь-який варіант закріплення транспондера на тварині, при використанні зчитувача середньої відстані транспондер може бути закріплений тільки на вусі або нозі тварини. Наявність двох зчитувачів транспондерів необхідна для того, щоб транспондер попадав в їх робочу зону незалежно від положення тварини. Наявність не ідентифікованої тварини у робочій зоні установки визначається за допомогою блока контролю наявності тварини. Після виявлення тварини у робочій зоні че-

сальної установки, блок керування чесальною установкою формує команду увімкнення електродвигуна, який забезпечує обертальний рух щітки протягом необхідного часу. Після виходу тварини з робочої зони установки, блок керування чесальною установкою передає код транспондера тварини та інформацію про тривалість її знаходження на установці до сервера інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів ТПВКМ, де здійснюється контроль тривалості та кількості користувань чесальною установкою конкретною твариною. У випадку відхилення контрольованих параметрів від норми формується відповідне повідомлення обслуговуючому персоналу ферми, після чого визначена тварина досліджується ветеринаром. Межі допуску кількості та тривалості користування чесальною установкою для здійснення вимірювального контролю цих параметрів встановлюються індивідуально для кожної тварини на основі усереднення результатів багаторазових спостережень, або на основі середніх показників стада. Вимірювання параметрів обертального руху щітки, необхідних для обліку часу користування чесальною установкою, реалізації функції аварійного блокування електродвигуна, забезпечення рівномірного обертання щітки в обох напрямках реалізовано з використанням фотоелектричного вимірювального перетворювача параметрів обертального руху.

Розроблено таку конструкцію електродної системи, при якому усувається складова похибки вимірювання електропровідності, що зумовлена нерівномірністю електричного поля в міжелектродному проміжку. Рівномірність електричного поля у міжелектродному проміжку вимірювального перетворювача забезпечується наступним чином. Розглянемо рис. 9, на якому наведені силові лінії електричного поля у міжелектродному проміжку в молокоприймальній камері доїльного апарата, коли рівень молока співпадає з верхньою границею електродної системи (рис. 9, а), і коли рівень молока вищий верхньої границі електродної системи (рис. 9, б), та рис. 10, на якому наведено креслення молокоприймальної камери доїльного апарата з фотоелектричним вимірювальним перетворювачем рівня молока та електродною системою для вимірювання електропровідності.

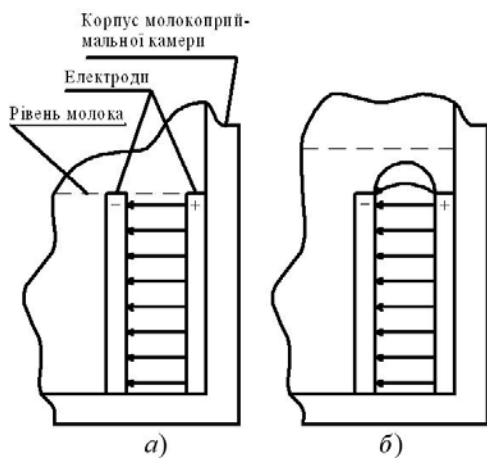


Рисунок 9 – Силові лінії електричного поля у міжелектродному проміжку

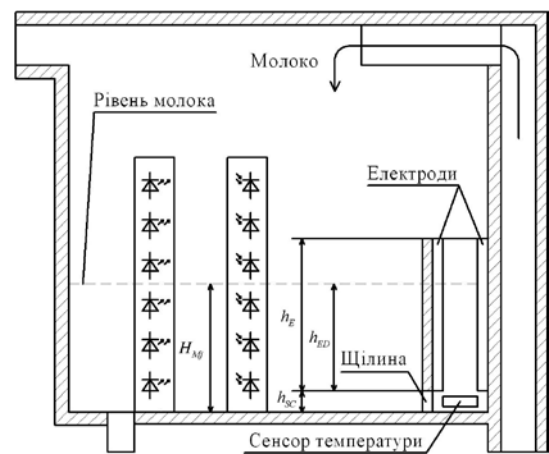


Рисунок 10 – Креслення молокоприймальної камери з фотоелектричним вимірювальним перетворювачем рівня та електродною системою

При співпаданні рівня молока з верхньою границею електродної системи, електричне поле у міжелектродному просторі має практично рівномірний характер. Внаслідок того, що повітря має у багато разів меншу електропровідність, ніж молоко, його впливом на похибку вимірювання електропровідності можна знехтувати. При перевищенні рівнем молока верхньої границі електродної системи (рис. 9, б), у верхньому шарі молока виникає нерівномірність електричного поля, що є причиною збільшення похибки вимірювання електропровідності. Для запобігання виникнення складової похибки вимірювання електропровідності молока, яка зумовлена нерівномірністю електричного поля, використовується наступне технічне рішення. У молокоприймальній камері знаходиться відсік, у якому розташовані два електроди прямокутної форми довжиною h_E , а у нижній частині розташований сенсор температури. У нижній частині зовнішньої стінки відсіку знаходиться щілина висотою h_{SC} . Завдяки наявності щілини молокоприймальна камера та відсік утворюють сполучені сосуди. Відповідно, рівень молока у молокоприймальній камері та відсіку завжди однаковий. Вимірювання електропровідності молока та температури здійснюється у моменти часу, коли рівень молока визначається співвідношенням

$$H_{Mj} \leq h_E + h_{SC} \quad (66)$$

Еквівалентна довжина електродів, як слідує з рис. 10, визначається за виразом

$$h_{ED} = H_{Mj} - h_{SC} \quad (67)$$

У розглянутій конструкції наявний шар молока товщиною h_{SC} , який знаходиться між дном молокоприймальної камери та нижньою границею електродної системи. При виконанні умови $H_{Mj} \gg h_{SC}$, нерівномірність електричного поля, яка зумовлена наявністю цього шару, суттєво не впливає на похибку вимірювання електропровідності. Сенсор температури розташований у нижній частині відсіку для того, щоб його час відгуку був менший, ніж час, за який рівень молока у молокоприймальній камері досягне значення H_{Mj} .

У четвертому розділі на основі експериментально отриманих диференціальних функцій розподілу загального часу роботи з тваринами розроблено та впроваджено метод статистичного оцінювання та вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок та доярів при використанні різних типів доїльних апаратів та різних варіантах ідентифікації тварин. Функція розподілу тривалості роботи будь-якої доїльної установки є нормальною у відповідності з першою граничною теоремою, тому для визначення допустимого відхилення тривалості роботи доїльних установок використано інтервал, значення якого дорівнює його трьом середньоквадратичним відхиленням, тобто допустиме відхилення визначається за виразом

$$\Delta_K = 3\sigma_{\bar{t}_v} \quad (68)$$

де $\sigma_{\bar{t}_v}$ – середньоквадратичне відхилення тривалості роботи доїльної установки.

Номінальне значення тривалості роботи доїльної установки є математичним очікуванням цього параметра, яке визначається за виразами (32), (36), (41), (44),

(47). Допустиме відхилення тривалості роботи стійлової доїльної установки визначається виразом

$$\Delta_K = 3\sqrt{R_S D_{PD} + N_S D_{TD} / Z_S}. \quad (69)$$

Допустиме відхилення тривалості роботи групових доїльних установок визначається виразом

$$\Delta_K = 3\sqrt{K_{GD} (D_{IN} + D_{OUT} + Z_D D_{PD} + D_{TD}) + D_{INO} + D_{OUTO} + K_{NGD} D_{PD} + D_{TD}}. \quad (70)$$

Допустиме відхилення тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками визначається виразом

$$\Delta_K = \begin{cases} 3\sqrt{K_V (D_{IN} + D_{OUT} + D_{TD}) / 2 + D_{PD} (K_V / 2 + 1)}, \{K_V / 2\} = 0; \\ 3\sqrt{K_V (D_{IN} + D_{PD} + D_{OUT} + D_{TD}) / 2}, \{K_V / 2\} \neq 0. \end{cases} \quad (71)$$

Допустиме відхилення тривалості роботи доїльної установки «Тандем» визначається виразом

$$\Delta_K = \begin{cases} 3\sqrt{(K_V / Z_D) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + D_{PD} (K_V / Z_D + Z_S - 1)}, \{K_V / 2\} = 0; \\ 3\sqrt{([K_V / Z_D] + Z_D) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + D_{PD} ([K_V / Z_D] - 1 + Z_D (2 - \{K_V / Z_D\}))}, \{K_V / 2\} \neq 0. \end{cases} \quad (72)$$

Допустиме відхилення тривалості роботи конвеєрної установки визначається виразом

$$\Delta_K = 3\sqrt{D_{PD} + D_{TD} + D_{OUT} + D_{IN} K_T}. \quad (73)$$

На стійлових і групових доїльних установках, на установках з паралельно-прохідними станками та установці «Тандем» дояри працюють паралельно. Відповідно, розроблені методи контролю тривалості роботи цих установок можуть бути використані для контролю тривалості роботи окремих доярів.

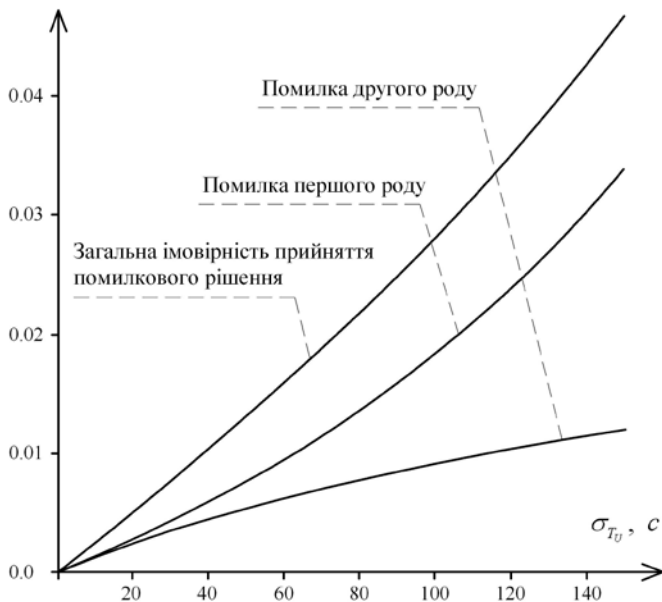


Рисунок 11 – Залежності показників достовірності вимірювального контролю тривалості роботи групової доїльної установки від середньоквадратичного відхилення абсолютної похибки вимірювання

На рис. 11, як приклад, наведено графіки залежностей показників достовірності вимірювального контролю тривалості роботи групової доїльної установки від середньоквадратичного відхилення абсолютної похибки вимірювання цього параметра. Як слідує з рис. 11, достовірність вимірювального контролю тривалості роботи групових доїльних установок суттєво знижується із збільшенням середньоквадратичного відхилення абсолютної похибки вимірювання цього параметра.

При використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, абсолютна похибка вимірю-

вання рівня має наступні незалежні складові. Перша складова похибки зумовлена наявністю похибки квантування аналого-цифрового перетворювача, ця складова має нульове математичне очікування, розподілена рівномірно. Друга складова похибки вимірювання рівня зумовлена відхиленням від вертикального положення молокоприймальної камери доїльного апарата, коливаннями поверхні молока, наявністю крапель та піни, вібраціями, які виникають при роботі обладнання, іншими факторами. Значення цієї складової залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий. Виходячи з цього, можна припустити, що ця складова розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Третя складова похибки вимірювання рівня зумовлена кінцевими значеннями коефіцієнта передачі та вхідного опору операційного підсилювача, наявністю падіння напруги на фотодіоді, напруги зміщення нуля, різниці вхідних струмів операційного підсилювача, шумового струму фотодіода, шумового струму та шумової напруги операційного підсилювача. Ця складова залежить від багатьох факторів, серед яких немає домінуючого, можна припустити, що вона розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Максимальне значення загальної абсолютної похибки вимірювання рівня молока визначається виразом

$$\Delta_{H_M} = U_{REF} / 2 \cdot (2^n - 1) I_{S_{I0}}(\lambda) R_{ZZ} D + \Delta_{VS} / I_{S_{I0}}(\lambda) R_{ZZ} D + (I_S R_{ZZ} (\exp(e_e U_{VD} / kT) - 1) / (1 + R_{ZZ} / K_0 R_{IN} + 1 / K_0 R_{IN}) + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N) / I_{S_{I0}}(\lambda) R_{ZZ} D, \quad (74)$$

де U_{REF} – опорна напруга аналого-цифрового перетворювача; n – кількість розрядів аналого-цифрового перетворювача; Δ_{VS} – максимальне значення другої складової похибки вимірювання рівня молока; I_S – темновий струм фотодіода; U_{VD} – падіння напруги на фотодіоді; T – абсолютна температура; k – постійна Больцмана; e_e – заряд електрона; K_0 – коефіцієнт передачі операційного підсилювача; R_{IN} – вхідний опір операційного підсилювача; U_{SM} – напруга зміщення нуля операційного підсилювача; ΔI – різниця вхідних струмів операційного підсилювача; U_N – напруга шуму на виході фотоприймача.

Внаслідок незалежності складових, середньоквадратичне відхилення похибки вимірювання рівня молока при використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача визначається виразом

$$\sigma_{H_M} = \sqrt{(U_{REF} / 2 \sqrt{3} (2^n - 1))^2 + \sigma_{MF}^2 + \sigma_{VS}^2} / I_{S_{I0}}(\lambda) R_{ZZ} D, \quad (75)$$

де σ_{VS} , σ_{MF} – середньоквадратичне відхилення відповідно другої та третьої складової похибки вимірювання рівня.

Внаслідок домінуючого значення другої складової, функцію розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока можна прийняти за нормальну з нульовим математичним очікуванням. Порівняння розрахованих на основі результатів досліджень показників достовірності вимірювального контролю параметрів молоковіддачі при використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока та аналогів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати порівняння помилок вимірювального контролю параметрів молоковіддачі при використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока та аналогів

Контрольований параметр	Фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока		Ковшовий ВП УДТ-12.220		Оптичний кореляційний вимірювальний перетворювач інтенсивності молочного потоку LactoFlow	
	Помилка першого роду	Помилка другого роду	Помилка першого роду	Помилка другого роду	Помилка першого роду	Помилка другого роду
Разовий удій	$3,80 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	$5,81 \cdot 10^{-4}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$6,02 \cdot 10^{-4}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність молоковіддачі протягом тридцяти секунд після початку доїння	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$0,63 \cdot 10^{-4}$	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$0,78 \cdot 10^{-4}$	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$0,97 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$	$2,38 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$2,56 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність молоковіддачі протягом часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння	$1,65 \cdot 10^{-4}$	$0,92 \cdot 10^{-4}$	$2,70 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$2,91 \cdot 10^{-4}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$
Середня інтенсивність молоковіддачі	$3,58 \cdot 10^{-4}$	$1,70 \cdot 10^{-4}$	$5,64 \cdot 10^{-4}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$	$5,99 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^{-4}$
Миттєва інтенсивність молоковіддачі (нижня границя допуску 0,2 л/хв)	$1,93 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$2,71 \cdot 10^{-3}$	$2,55 \cdot 10^{-3}$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$2,28 \cdot 10^{-3}$
Миттєва інтенсивність молоковіддачі (нижня границя допуску 0,8 л/хв)	$1,43 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$2,07 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-3}$
Поточний удій на двадцятій секунді після початку доїння	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$0,56 \cdot 10^{-4}$	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$2,91 \cdot 10^{-4}$

Як впливає з аналізу табл. 1, показники достовірності вимірювального контролю параметрів молоковіддачі, які досягнуто при використанні розробленого фотоелектричного вимірювального перетворювача рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, перевищують аналогічні показники, які досягаються при використанні аналогів.

Також в дисертаційній роботі проведено розрахунок помилок вимірювального контролю параметрів молоковіддачі при використанні розроблених вимірювальних перетворювачів рівня молока з дискретним вихідним сигналом. Показники достовірності вимірювального контролю при використанні фотоелектричного вимірювального перетворювача з дискретним вихідним сигналом співрозмірні з показниками, які досягаються при використанні перетворювачів інтенсивності молочного потоку LactoFlow або FloMaster. При використанні вимірювального перетворювача рівня молока з дискретним вихідним сигналом на

основі магнітоактивних елементів досягаються нижчі показники достовірності контролю, ніж при використанні вищевказаних перетворювачів.

У п'ятому розділі розглянуто розроблені та впроваджені у промислове виробництво у якості складових елементів доїльного обладнання прилади, за допомогою яких здійснюється контроль параметрів ТПВКМ: блоки забезпечення процесу доїння «ІД-02», «БД-05», «БД-06», «БД-07», зчитувач транспондерів малого радіуса дії «АР-01», прилад, який здійснює контроль проходження тварини «БЦР-01», блок керування селекційними воротами «БУСВ-01», блок керування чесальною установкою «КОМФОРТ-01», блок управління дозатором молока «БУДМ-01», блок забезпечення обміну даними «ІБ-04», лічильник порцій молока «СПМ-02», засіб вимірювання кількості молока «ЦНС-2». Прилади «БУДМ-01» та «СПМ-02» призначені для використання на стійлових доїльних установках з молокопроводом, можливе їх функціонування як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ. Прилади «ІД-02», «БД-05», «БД-06», «БД-07», «КОМФОРТ-01» призначені для використання на тваринницьких фермах з безприв'язним утриманням тварин на групових доїльних установках та доїльних установках з прохідними станками, вони теж можуть функціонувати як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ. Прилади «БЦР-01», «АР-01», «БУСВ-01», «ІБ-04», «ЦНС-2», можуть функціонувати виключно у складі інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ. Для забезпечення функціонування інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ, в процесі проведення досліджень розроблено програмне забезпечення «АСУ-ФЕРМА-2», яке може використовуватися на фермах з прив'язним та безприв'язним утриманням тварин. За допомогою цього програмного забезпечення здійснюється отримання, обробка, перетворення та представлення у необхідному вигляді інформації про параметри ТПВКМ, проведення операцій контролю необхідних параметрів, критеріальне оцінювання та прогнозування стану складових елементів ТПВКМ, формування необхідних звітів. В процесі досліджень розроблено та впроваджено у виробництво декілька варіантів інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ для ферм з прив'язним та безприв'язним утриманням тварин. Для ферм з прив'язним утриманням тварин, які обладнані типовими стійловими доїльними установками, реалізовано та впроваджено інформаційно-вимірювальні системи контролю параметрів ТПВКМ на основі «ЦНС-2», «ІБ-04», «СПМ-02» або «БУДМ-01». Для ферм з безприв'язним утриманням, які обладнані груповими доїльними установками, реалізовано та впроваджено такі інформаційно-вимірювальні системи контролю параметрів ТПВКМ: система без ідентифікації тварин на основі «ІД-02» або «БД-07» та «ЦНС-2»; система з автоматизованою ідентифікацією тварин на основі «АР-01», «ІБ-04», «ЦНС-2», «БД-05» або «БД-06», система з автоматичною ідентифікацією тварин на основі «БД-06», «БЦР-01», зчитувачів транспондерів типу PNL-2530, PNL-4060-3 або PNL-60120, «ЦНС-2», «ІБ-04», «БУСВ-01», «КОМФОРТ-01».

ВИСНОВКИ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему підвищення показників достовірності контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока за рахунок розробки нових методів та засобів контролю. Найбільш значимими науковими та практичними результатами роботи є:

1. Вперше розроблено критерій кількісного оцінювання стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювального контролю його параметрів, та критерій кількісного оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових елементів ТПВКМ на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів. Практичне застосування цих критеріїв у розробленому програмному забезпеченні «АСУ-ФЕРМА-2» дозволило вчасно встановлювати факт високої імовірності відхилення стану складових елементів ТПВКМ від норми та прогнозувати виникнення відхилень стану складових елементів ТПВКМ від норми, вчасно приймати міри для нормалізації стану складових елементів ТПВКМ та запобіжні міри для попередження виникнення відхилень стану ТПВКМ від норми.

2. Вперше розроблено теоретичні засади оптичного методу оперативного вимірювального контролю відносної масової частки молока у потоці водномолочного розчину, які базуються на вимірюванні інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке проходить крізь сформовану дозатором порцію молока, що дозволило оперативно виявляти факти фальсифікації молока водою на стійлових доїльних установках. Отримані теоретичні результати дозволили практично реалізувати та впровадити у виробництво лічильник порцій молока, у якому реалізована функція контролю наявності води у молоці. Окрім того, теоретично досліджено та практично реалізовано спосіб ідентифікації порції молока, сформованої дозатором, з використанням оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу фотоелектричного сенсора проходження порції. Використання оптимальної лінійної фільтрації дозволило досягти значення зведеної похибки підрахунку порції не більше 0,1 %, що як мінімум на 30 % менше, ніж у існуючих аналогів. Внаслідок цього збільшилася достовірність вимірювального контролю удою, що отриманий окремими доярками на стійлових доїльних установках.

3. На основі проведених експериментальних досліджень вперше отримано диференційні функції розподілу загального часу роботи з тваринами при різних способах їх утримання та підготовки до доїння, різних варіантах їх ідентифікації, при використанні різних типів доїльних апаратів. На основі вищевказаних функцій розподілу розроблено та практично реалізовано метод статистичного оцінювання та вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок та доярів при використанні різних типів доїльних апаратів та різних варіантах ідентифікації тварин, який базується на встановленому в результаті проведених досліджень функціональному зв'язку між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльних установок, статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу

видоювання тварини, кількістю доярів, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата, що дозволило підвищити достовірність вимірювального контролю тривалості роботи основних типів доїльних установок та окремих доярів, що їх обслуговують.

4. Проведено дослідження впливу помилок ідентифікації тварин під час руху на результати вимірювального контролю параметрів ТПВКМ. На основі результатів проведених досліджень встановлено, що при ідентифікації тварин під час руху на групових доїльних установках, виникнення помилки ідентифікації однієї тварини, з високим ступенем імовірності може призвести до втрати результатів контролю індивідуальних параметрів групи тварин, яка розташована на відповідній стороні установки. Встановлено співвідношення, за допомогою яких виявляється наявність помилки ідентифікації та визначається група тварин, для якої результати контролю індивідуальних параметрів є недостовірними.

5. З метою зменшення впливу помилок ідентифікації тварин на результати контролю параметрів ТПВКМ розроблено та впроваджено у виробництво двоконтурну ортогональну антену, за допомогою якої забезпечується підвищення достовірності ідентифікації тварин під час руху на групових та конвеєрних доїльних установках. Використання такої антени дозволило збільшити відсоток успішних зчитувань кодів транспондерів з 89,1% до 99,7%.

6. Вперше розроблено метод та впроваджено у виробництво засіб контролю проходження тварин на групових доїльних установках, у якому, на відміну від існуючих, використовується оптимальна лінійна фільтрація вихідного сигналу сенсора проходження тварини. Впровадження даного методу дозволило виявляти 80 - 90 % не ідентифікованих тварин, в той час як існуючі аналоги дозволяють виявляти 60 - 70 % таких тварин. Це дозволило у 1,5 - 2 рази (в залежності від кількості доїльних станків на стороні установки), зменшити втрату інформації про результати контролю індивідуальних параметрів тварин, яка виникає внаслідок виникнення помилок радіочастотної ідентифікації.

7. Запропоновано та впроваджено систему автоматичної радіочастотної ідентифікації тварин на стійлових доїльних установках з зовнішніми транспондерами, за допомогою якої забезпечується примусове виконання доярцем регламенту роботи доїльної установки. Внаслідок впровадження цієї системи продуктивність доїльної установки підвищилася на 6,5 % за рахунок суворого дотримання регламенту роботи персоналом ферми.

8. Отримав розвиток метод вимірювального контролю електропровідності молока протягом лактаційного періоду тварини, який на відміну від існуючих, враховує збільшення нормального значення електропровідності протягом першого та останнього місяців лактації, що дозволило збільшити достовірність виявлення тварин з підозрою на захворюваність маститом. Також розроблено конструкцію електродної системи та спосіб вимірювання електропровідності молока у молокоприймальній камері, при використанні якого усувається складова похибки вимірювання електропровідності, що зумовлена нерівномірністю силових ліній електричного поля у міжелектродному проміжку.

9. Вперше запропоновано метод контролю кількості та часу користування тваринами чесальною установкою при їх безприв'язному утриманні, що дозволило автоматично виявляти тварин з зниженою активністю та підозрою на наявність шкірних захворювань і кліщів. Розроблено та впроваджено у виробництво систему радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для чесальної установки.

10. Здійснено удосконалення порційного методу вимірювання поточного удою, яке полягає у застосуванні фотоелектричного вимірювального перетворення площа-напруга рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, що дозволило зменшити похибку вимірювання та підвищити достовірність контролю параметрів молоковіддачі. Окрім того, розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівня молока з дискретним вихідним сигналом та вимірювальний перетворювач рівня молока на основі магнітоактивних елементів з дискретним вихідним сигналом, за допомогою яких забезпечується вимірювальний контроль параметрів молоковіддачі на стійлових доїльних установках з достатньою достовірністю. Також розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молоковіддачі, який призначений для стійлових доїльних установок низької цінової категорії. При його використанні забезпечується достатня достовірність вимірювального контролю деяких параметрів молоковіддачі для здійснення керування процесом доїння.

11. На основі отриманих при проведенні досліджень результатів розроблено та впроваджено у виробництво декілька варіантів інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів ТПВКМ для різних типів доїльних установок з різними способами ідентифікації тварин, засоби вимірювання та вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, які є складовими елементами розроблених систем, та можуть використовуватися в автономному режимі. Проведено оцінювання метрологічних характеристик засобів вимірювання та вимірювального контролю параметрів ТПВКМ, адекватність розроблених моделей, ефективність запропонованих методів і створених на їх основі засобів вимірювального контролю підтверджена результатами експериментів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кулаков П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
2. Кулаков П. І. Математична модель оптичного датчика наявності води у молоці / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології». – 2012. – № 1(23). – С. 121 – 126.
3. Кучерук В. Ю. Пристрій підрахунку порцій молока з функцією контролю наявності води в молоці / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь, С. В. Савенко // Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 1. – С. 56 – 59.
4. Кучерук В. Ю. Аналіз похибки вимірювання загального удою на стійловому молокопроводі / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, В. В. Присяжнюк, Т. В. Гнесь // Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 3–4. – С. 49–51.

5. Кучерук В. Ю. Датчик інтенсивності молоковіддачі переносного доїльного апарату для стійлового молокопроводу / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 3. – С. 44 – 48. (РИНЦ)
6. Поджаренко В. О. Визначення необхідної точності вимірювання контрольованих параметрів / В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, В. М. Севастьянов, О. П. Войтович // Вісник інженерної академії України. – 2008. – № 3 – 4. – С. 259 – 263.
7. Кучерук В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/3 (67). – С. 4 – 7. (Index Copernicus, РИНЦ)
8. Кучерук В. Ю. Статистична модель тривалості машинного доїння на стійловій доїльній установці / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2/4 (68). – С. 31 – 77. (Index Copernicus, РИНЦ)
9. Кучерук В. Ю. Алгоритм мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, О. М. Возняк, Є. А. Марчук // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 1. – С. 265 – 269.
10. Кучерук В. Ю. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3/9 (69). – С. 16 – 22. (Index Copernicus, РИНЦ)
11. Кучерук В. Ю. Розвиток математичної моделі вимірювального перетворювача інтенсивності світлового потоку / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, О. М. Возняк, Т. В. Гнесь, О. Г. Антіпов, У. С. Мельничук, Р. С. Білієнко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – № 1. – С. 31 – 36. (Index Copernicus, РИНЦ)
12. Кучерук В. Ю. Двоконтурна система радіочастотної ідентифікації тварин / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2 (47). – С. 140 – 144. (РИНЦ)
13. Кучерук В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння на групових доїльних установках / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4/4 (70). – С. 13 – 17. (Index Copernicus, РИНЦ)
14. Кучерук В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння на доїльних установках з прохідними станками / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 5/4 (71). – С. 4 – 9. (Index Copernicus, РИНЦ)
15. Кучерук В. Ю. Засоби радіочастотної ідентифікації для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 3 (48). – С. 145 – 150. (РИНЦ)

16. Кучерук В. Ю. Розробка статистичних моделей тривалості доїння на конвеєрних доїльних установках / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Восточно-європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/4 (72). – С. 4 – 8. (Index Copernicus, РИНЦ)

17. Кучерук В. Ю. Підвищення достовірності ідентифікації тварин у інформаційно-вимірювальних системах контролю зоотехнічних параметрів / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 115 – 122.

18. Кучерук В. Ю. Система радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Збірник наукових праць одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2014. – № 2 (5). – С. 88 – 93.

19. Кулаков П. І. Чесальна установка з системою радіочастотної ідентифікації та фотоелектричним перетворювачем параметрів обертального руху / П. І. Кулаков // Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології». – 2014. – № 2 (28). – С. 104 – 109.

20. Кулаков П. І. Оцінювання стану тварин на основі результатів вимірювального контролю їх зоотехнічних параметрів / П. І. Кулаков // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 3 – 4. – С. 154 – 158.

21. Кучерук В. Ю. Класифікація систем ідентифікації тварин для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1 (50). – С. 252 – 256. (РИНЦ)

22. Кучерук В. Ю. Вплив помилок ідентифікації тварин на результати вимірювання їх зоотехнічних параметрів / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, А. А. Видмиш // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 1. – С. 55 – 59.

23. Кучерук В. Ю. Дослідження похибок непрямих вимірювань зоотехнічних параметрів тварин / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Метрологія та прилади. – 2015. – №2. – С. 66 – 71. (Index Copernicus, РИНЦ)

24. Кучерук В. Ю. Огляд інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3(120). – С. 15 – 23. (РИНЦ)

25. Кучерук В. Ю. Класифікація інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 89 – 93. (Index Copernicus, РИНЦ)

26. Кучерук В. Ю. Вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №3. – С. 38 – 43. (Index Copernicus, РИНЦ)

27. Kucheruk V. Y. The animals radio-frequency identification systems for stall milking machines / V. Y. Kucheruk, I. P. Kurytnik, P. I. Kulakov, T. V. Gnes //

Measurement Automation Monitoring. – 2015. – v. 61. – №11. – P. 526 – 529. (Index Copernicus)

28. Кулаков П. І. Датчик проходження порції молока : матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції / П. І. Кулаков, А. О. Саркісов // Контроль і управління у складних системах. – Вінниця: ВНТУ, 2003. – С. 31 – 36.

29. Кулаков П. І. Аналіз похибки визначення загального удою при використанні блоків доїння БД-01 або індикаторів інтенсивності доїння ІД-01 : X науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, А. О. Саркісов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2003. – С. 19.

30. Кулаков П. І. Датчик проходження порції молока : VII науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, А. О. Саркісов // Контроль і управління у складних системах. – Вінниця: ВНТУ, 2003. – С. 47.

31. Кулаков П. І. Лічильник порцій молока для стійлової доїльної установки : I міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, А. В. Поджаренко, Д. В. Тихонова // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 65.

32. Кулаков П. І. Дослідження похибки вимірювання загального удою стійлової доїльної установки : II міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 197.

33. Кулаков П. І. Датчик інтенсивності молоковіддачі для стійлового молокопроводу : IV науково-практична конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання. – Івано-Франківськ, 2013. – С. 89 – 90.

34. Кулаков П. І. Засіб вимірювання рівня молока для переносного доїльного апарату стійлової установки : XIII міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Одеса, 2013. – С. 131 – 132.

35. Кулаков П. І. Засіб контролю зоотехнічних параметрів тварин : XII міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Контроль і управління в складних системах. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – С. 193.

36. Kucheruk V. The radiofrequency identification systems of animals for stall milking machines : IV Miedzynarodowa konferencja studentow oraz mlodych naukowcow / V. Kucheruk, P. Kulakov, T. Gnes // Inzynier XXI wieku. – Bielsko-Biala, 2014. – P. 175 – 176.

37. Кулаков П. І. Система радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки : I Всеукраїнська науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування. – Харків, 2014. – С. 95 – 96.

38. Кулаков П. І. Статистична модель тривалості машинного доїння на стійловій доїльній установці : Всеукраїнська науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Technical Using of Measurement – 2015. – Славське, 2015. – С. 29 – 31.

39. Кулаков П. І. Фотоелектричний перетворювач рівню : Міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Photonics ODS – 2015. – Вінниця, 2015, С. 125.
40. Кулаков П. І. Статистичні моделі тривалості машинного доїння : Міжнародна науково-технічна конференція / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)». – Черкаси, 2015, С. 301 – 302.
41. Кулаков П. І. Оцінювання стану тварин на основі результатів контролю їх зоотехнічних параметрів : / П. І. Кулаков // «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи». – Львів, 2015, С. 157.
42. Кулаков П. І. Класифікація систем ідентифікації тварин для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм : / П. І. Кулаков // «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Одеса, 2015, С. 134.
43. Кулаков П. І. Інформаційно-вимірювальна система параметрів доїння для доїльного залу з централізованою ідентифікацією тварин : / П. І. Кулаков, О. В. Андрусь // «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси» (ІРТК – 2015). – Київ, 2015, С. 108 – 109.
44. Гнесь Т. В. Класифікація інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень ферм : / Т. В. Гнесь, П. І. Кулаков // Матеріали п'ятої міжнародної конференції студентів і молодих науковців «Сучасні інформаційні технології 2015». – Одеса, 2015, С. 125 – 126
45. Гнесь Т. В. Вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині : / Т. В. Гнесь, П. І. Кулаков // Матеріали третьої міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)». – Вінниця, 2015, С. 66
46. Кулаков П. І. Вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарату на основі магнітоактивних елементів / П. І. Кулаков, У. С. Мельничук // Матеріали третьої міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)». – Вінниця, 2015, С. 64
47. Кулаков П. І. Вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молоковіддачі / П. І. Кулаков, Р. С. Білієнко // Матеріали третьої міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)». – Вінниця, 2015, С. 65
48. Кулаков П. І. Вимірювальний контроль тривалості роботи стійлової доїльної установки / П. І. Кулаков, О. Л. Бігдай // Матеріали п'ятої науково-практичної конференції «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання». – Івано-Франківськ, 2015, С. 111
49. Кулаков П. І. Чесальна установка з системою радіочастотної ідентифікації тварини / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування». – Харків, 2015, С. 17 – 18
50. Кулаков П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков // Матеріали третьої міжнародної нау-

кової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)». – Вінниця, 2015, С. 154

51. Пристрій для вимірювання кількості порцій молока та виявлення води в молоці : Патент на корисну модель 88826 Україна: A01J 7/00 / Кучерук В. Ю., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 15.04.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. – 4 с.

52. Пристрій для підрахунку порцій молока з виявленням вмісту води в молоці : Патент на корисну модель 92588 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 14.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. – 3 с.

53. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку : Патент на корисну модель 92637 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 31.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. – 3 с.

54. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку з функцією виявлення води в молоці : Патент на корисну модель 94015 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 12.05.2014 ; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20. – 3 с.

55. Пристрій для вимірювання кількості молока для переносного доїльного апарата : Патент на корисну модель 97209 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 20.06.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5. – 4 с.

56. Оптичний пристрій для вимірювання кількості молока для переносного доїльного апарата : Патент на корисну модель 97271 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 04.08.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5. – 4 с.

57. Чесальна установка з системою радіочастотної ідентифікації тварини : Патент на корисну модель 102847 Україна: A01K 13/00 A46B 13/00 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 05.05.2015 ; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22. – 2 с.

58. Система радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки : Патент на корисну модель 104010 Україна: A01K 29/00 A01J 5/00 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 24.06.2015 ; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. – 2 с.

АНОТАЦІЇ

Кулаков П. І. Методи та засоби контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Вінницький національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2016.

У дисертаційній роботі вирішено проблему підвищення достовірності контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока. Запропоновано критерії кількісного оцінювання стану та небезпеки відхилення від норми стану складових елементів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів. Розроблено оптичний метод оперативного вимірювального контролю відносної масової частки молока у потоці водно-молочного розчину. Запропоновано метод контролю кількості та часу користування тваринами чесальною установкою. Отримали розвиток методи контролю тривалості роботи доїльних установок на основі використання експериментальних статистичних характеристик тривалості доїльних процесів. Використано оптимальну лінійну фільтрацію вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта для удосконалення методу контролю проходження тварин на групових доїльних установках. Розвинуто метод вимірювального контролю електропровідності молока шляхом забезпечення рівномірності електричного поля у міжелектродному проміжку вимірювального перетворювача та врахування залежності верхньої границі допуску від поточного дня лактації. Для підвищення достовірності контролю параметрів молоковіддачі розроблено вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, принцип дії якого заснований на фотоелектричному перетворенні площа-напруга. Проведено експериментальні дослідження створених засобів контролю, що підтверджують адекватність розроблених теоретичних положень та ефективність запропонованих методів.

Ключові слова: методи контролю, засоби контролю, виробництво коров'ячого молока, параметри технологічного процесу, тваринницька ферма.

Kulakov P. I. Methods and tools for the parameters control of the cow's milk production technological process. – In manuscript.

The dissertation for the degree of the Doctor of Science (Engineering) on a speciality 05.11.13 – Devices and methods of control and determination of the substances composition. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2016.

The dissertation solved the problem of increasing the reliability of the parameters control of cow's milk production technological process. Quantification criteria of state, and quantification criteria of danger abnormal state of process constituents of cow's milk production, which based on the measurement results and parameters measurement control, are offered. An optical measuring method for operational control of the relative mass fraction of milk in a stream of water and milk solution is designed. A method of controlling the amount of time and animals using of carding

plant is suggested. The methods of the milking machines working duration control, which based on experimental statistical characteristics of the milking processes duration is developed. Used optimum linear filtering of the object presence sensor output signal to improve the control method of animals passage on group milking installations. Developed the method of milk electrical conductivity measuring control by ensuring the uniformity of the electric field in the sensor electrode gap and accounting depending of the tolerance upper limit from the day of lactation. To improve the reliability of the milking parameters control, milk level sensor in the milk collection chamber of milking machine, which principle is based on the photoelectric area-voltage conversion is designed. Experimental studies established controls confirming the adequacy of the developed theoretical positions and the effectiveness of the proposed methods.

Key words: method of control, tools of control, cow milk production, technological process parameters, animal farm.

Кулаков П. И. Методы и средства контроля параметров технологического процесса производства коровьего молока. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2016.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы повышения достоверности контроля параметров технологического процесса производства коровьего молока за счет разработки новых методов и средств контроля. В результате проведения диссертационных исследований впервые разработан критерий количественного оценивания состояния составных элементов технологического процесса производства коровьего молока на основе результатов измерительного контроля его параметров, что позволило с высокой вероятностью устанавливать соответствие между состоянием объекта и нормой. Впервые разработан критерий количественного оценивания опасности отклонения от нормы состояния составных элементов технологического процесса производства коровьего молока на основе результатов измерения и измерительного контроля его параметров, что позволило прогнозировать возникновение отклонений в состоянии составляющих элементов процесса от нормы. Разработаны теоретические основы оптического метода оперативного измерительного контроля относительной массовой доли молока в потоке водно-молочного раствора, основанные на измерении интенсивности инфракрасного излучения, которое проходит сквозь водно-молочный раствор, что позволило оперативно контролировать наличие воды в молоке и выявлять факты фальсификации молока водой на стойловых доильных установках. Предложен метод контроля количества и времени пользования животными чесальной установкой при их беспривязном содержании, что позволило автоматически выявлять животных с пониженной активностью и подозрением на наличие кожных заболеваний и клещей. Получили развитие методы измерительного контроля продолжительности работы доильных установок путем использования экспериментально полученных статистических

характеристик продолжительности доильных процессов. Усовершенствован метод контроля прохождения животных на групповых доильных установках путем использования оптимальной линейной фильтрации выходного сигнала датчика наличия объекта, что позволило повысить точность подсчета животных в потоке и уменьшить влияние ошибок идентификации на результаты контроля параметров технологического процесса производства коровьего молока. Получил развитие метод измерительного контроля электропроводности молока путем обеспечения равномерности электрического поля в межэлектродном промежутке измерительного преобразователя и учета зависимости верхней границы допуска контролируемого параметра от текущего дня лактации, что позволило повысить достоверность выявления животных с подозрением на заболеваемость маститом. Разработан измерительный преобразователь уровня молока в молокоприемной камере доильного аппарата, принцип действия которого основан на фотоэлектрическом преобразовании площадь-напряжение, что позволило уменьшить погрешность измерения и повысить достоверность контроля параметров молокоотдачи. Проведены экспериментальные исследования созданных средств контроля, подтверждающие адекватность разработанных теоретических положений и эффективность предложенных методов.

Ключевые слова: методы контроля, средства контроля, производство коровьего молока, параметры технологического процесса, животноводческая ферма.

Підписано до друку 17.05.2016 р. Формат 29,7×42¹/₄

Наклад 100 прим. Зам. № 2016-106

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.