

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

П. І. Кулаков

**ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ
ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ БІОТЕХНІЧНОЇ
СИСТЕМИ ДОЇННЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 631.3.05 + 637.11

ББК 34.725

К90

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 24.09.20015 р.)

Рецензенти:

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

І. П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор

В. М. Севастьянов, кандидат технічних наук, доцент

Кулаков, П. І.

К90 Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння : монографія / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.

ISBN 978-966-641-641-7

В монографії проведено аналіз засобів вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння, розроблено моделі процесу доїння та роботи доїльних установок. Запропоновано вимірювальні перетворювачі рівня та інтенсивності молоковіддачі, на їх основі створені засоби вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння, розроблено методику розрахунку достовірності контролю при їх використанні, розглянуто технічні засоби, які впроваджено у промислове виробництво.

Монографія призначена для науковців, які займаються питаннями, що пов'язані з виробництвом та первинною обробкою коров'ячого молока.

УДК 631.3.05 + 637.11

ББК 34.725

ISBN 978-966-641-641-7

© П. Кулаков, 2015

ЗМІСТ

Список умовних скорочень та позначень	5
ВСТУП	7
1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД	9
1.1 Особливості функціонування БТСД	9
1.2 Класифікація інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм	12
1.3 Особливості параметрів БТСД	15
1.4 Узагальнена структурна схема ІВС ПБТСД	25
1.5 Класифікація ІВС ПБТСД	30
1.6 Системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД	33
1.6.1 Класифікація систем ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД ..	33
1.6.2 Системи ідентифікації тварин під час руху для ІВС ПБТСД	38
1.6.3 Системи ідентифікації нерухомих тварин для ІВС ПБТСД ..	44
1.7 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД	50
1.7.1 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД, що використовуються при прив'язному утриманні тварин	50
1.7.2 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД, що використовуються при безприв'язному утриманні тварин	54
1.8 Висновки	61
2 СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ДОЇЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ	64
2.1 Статистичні моделі тривалості процесу машинного доїння	64
2.2 Статистичні моделі роботи стійлової доїльної установки	73
2.3 Статистичні моделі роботи групових доїльних установок	80
2.4 Статистичні моделі роботи доїльних установок з прохідними станками	85
2.4.1 Статистичні моделі роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками	85
2.4.2 Статистичні моделі роботи установки «Тандем»	89
2.5 Статистична модель роботи конвеєрної доїльної установки	93
2.6 Висновки	97
3 РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД	99
3.1 Вплив помилок ідентифікації на результати вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні групових доїльних установок	99
3.2 Система радіочастотної ідентифікації рухомих тварин з двоконтурною ортогональною антеною	103

3.3 Ідентифікація проходження тварини з використанням оптимальної лінійної фільтрації	110
3.4 Розвиток математичної моделі фотоелектричного вимірювального перетворення площа–напруга.....	119
3.5 Фотоелектричний ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом та ЗВ параметрів БТСД на його основі.....	126
3.6 Вимірювання кількості порцій молока та виявлення вмісту води у молоці на стійлових доїльних установках.....	132
3.7 Фотоелектричний ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі ..	140
3.8 ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом.....	144
3.9 Висновки	149
4 ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ	
ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД.....	150
4.1 Достовірність вимірювального контролю тривалості роботи доїльних установок та доярів.....	150
4.2 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом.....	156
4.3 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом	170
4.4 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі	176
4.5 Висновки	180
5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ	
ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО	
КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД.....	182
5.1 Апаратна реалізація засобів вимірювання та вимірювального контролю параметрів БТСД.....	182
5.2 Програмне забезпечення для сервера ІВС ПБТСД	194
5.3 Практична реалізація варіантів ІВС ПБТСД.....	198
5.4 Висновки	202
ЛІТЕРАТУРА	203

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

А	Антенa
АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
БВП	Блок відображення параметрів
БВПК	Блок визначення положення конвеєра
БЗОД	Блок забезпечення обміну даними
БЗПД	Блок забезпечення процесу доїння
БІПТ	Блок ідентифікації проходження тварини
БКВП	Блок керування ваговою платформою
БКЗТ	Блок керування зчитувачем транспондерів
БКПТ	Блок контролю присутності тварини
БКСВ	Блок керування селекційними воротами
БКЧУ	Блок керування чесальною установкою
БТСВМ	Біотехнічна система виробництва молока
БТСД	Біотехнічна система доїння
БУДМ	Блок управління дозатором молока
ВП	Вимірювальний перетворювач
ВС ПБТСД	Вимірювальна система параметрів ПБТСД
ЕГ	Еквівалентний генератор
ЗВ	Засіб вимірювання
ЗВКМ	Засіб вимірювання кількості молока
ЗВКШ	Засіб вимірювання кутової швидкості
ЗС	Засіб синхронізації
ЗТ	Зчитувач транспондерів
ІВС	Інформаційно-вимірювальна система
ІВС ДМВТФ	Інформаційно-вимірювальна система для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм
ІВС ЗПГТ	ІВС зоотехнічних параметрів груп тварин
ІВС ЗПГТПТ	ІВС зоотехнічних параметрів груп тварин та індивідуальних зоотехнічних параметрів тварин
ІВС ЗПТ	ІВС зоотехнічних параметрів тварин
ІВС ЗПТПРО	ІВС зоотехнічних параметрів тварин та параметрів роботи оператора
ІВС ПБТСД	Інформаційно-вимірювальна система параметрів біотехнічної системи доїння
ІВС ПБТСДДЕ	ІВС ПБТСД з діагностикою елементів БТСД
ІВС ПВО	Інформаційно-вимірювальна система параметрів вакуумного обладнання

ІВС ПДО	Інформаційно-вимірювальна система параметрів доїльного обладнання
ІВС ПСЕБТСД	ІВС параметрів усіх складових елементів БТСД
ІВС ПГЗО	Інформаційно-вимірювальна система параметрів гноєзбирального обладнання
ІВС ПОО	Інформаційно-вимірювальна система параметрів охолоджувального обладнання
ІВС ПСМ	Інформаційно-вимірювальна система параметрів сирого молока
ІВС ПТО	Інформаційно-вимірювальна система параметрів технологічного обладнання
К	Клавіатура
КІВС ПБТСД	Комбіновані ІВС ПБТСД
КП	Комутаційний пристрій
ЛПМ	Лічильник порцій молока
МАЕ	Магнітоактивний елемент
ПБТСД	Параметри біотехнічної системи доїння
САК ПБТСД	Системи автоматичного контролю параметрів БТСД
САУТФ	Система автоматичного управління тваринницькою фермою
СКВ	Середньоквадратичне відхилення
УП	Узгоджувальний пристрій

ВСТУП

Молочне тваринництво є однією з найбільш складних та трудомітких галузей сільськогосподарського виробництва. Його основу складає комплекс взаємозв'язаних процесів та операцій, які утворюють системи і технології утримання тварин та виробництва сирого молока. Спеціалізація та концентрація молочного скотарства, а також збільшення випуску відповідної техніки, за останнє десятиріччя забезпечили певне підвищення технологічного рівня тваринницьких ферм та валового виробництва молока. Але, на жаль, суттєвого збільшення продуктивності праці та продуктивності тварин не досягнуто. У теперішній час, на більшості молочних ферм України та пострадянських країн, рівень механізації в середньому не перевищує 60–65 %, що значно збільшує собівартість сирого молока. Закупівельні ціни на молоко є необґрунтовано низькими, що робить виробництво молока наближеним до збиткового. При сучасному стані виробництва молока, в умовах незадовільно розвинутої механізації та автоматизації, ступінь підвищення продуктивності праці в одиницях виробленої продукції, при використанні традиційних технологій утримання, годівлі, обліку та доїння, досягнув свого максимального значення. Внаслідок недостатнього рівня цих технологій, потенційні можливості тварин за продуктивністю використовуються на 60–70 %. Такі низькі показники зумовлені широким застосуванням застарілого прив'язного утримання тварин, недостатнім рівнем організації та технічного забезпечення тваринницьких ферм та комплексів. Виходячи з цього, перехід молочного господарства на більш ефективну технологічну основу є важливою та невідкладною проблемою. Зниження собівартості виробництва молока та підвищення вимог до його якості потребує невідкладного впровадження нових технічних засобів та модернізації існуючих. Застарілі суб'єктивно-візуальні, інтуїтивно-логічні та евристичні методи контролю та управління технологічними та виробничими процесами не дозволяють забезпечити високу економічну ефективність виробництва та використати усі його потенційні можливості. Як свідчить закордонний досвід, для широкого впровадження системної автоматизації, централізації управління тваринницькою фермою, роботизації технологічних процесів, необхідна принципова зміна організаційно-технічних та технологічних форм управління та підходів до проектування технологічного обладнання. В напрямку розвитку технології та технічних засобів машинного доїння, автоматизації технологічних процесів у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм, працювали та продовжують працювати провідні українські вчені

М. М. Луценко, В. О. Дріго, Є. І. Адмін, В. Т. Дмитрів, Л. П. Ліщинський, І. І. Ревенко, В. М. Сиротюк, А. І. Фененко, та відомі закордонні вчені Ю. А. Цой, Е. Б. Білібін, Л. П. Карташов, И. Н. Краснов, В. Ф. Ужик, D. J. Reinemann, G. A. Mein, S. V. Spencer, та інші. Важливою складовою процесу підвищення інтенсифікації та ефективності виробництва молока є удосконалення та впровадження інформаційно-вимірювальних технологій. У багатьох випадках впровадження сучасних наукоємних інформаційно-вимірювальних та автоматизованих інформаційно-аналітичних систем є найважливішим фактором, який забезпечує високі економічні показники підприємства. Вказані системи, як правило, мають прив'язку до типу доїльного обладнання, тому як воно є основним елементом технології виробництва молока, більшість вимірювальної інформації про показники технологічного процесу виробництва молока отримуються саме тут. На основі отриманої інформації вирішуються завдання обліку, контролю, та планування зоотехнічних та ветеринарних заходів, доїння, функціонування обладнання та якості роботи доярів, здоров'я окремих тварин та стада в цілому, відтворення стада, руху тварин, здійснюється аналіз структури та фізіологічного стану стада. При використанні таких систем забезпечується отримання оперативної інформації про тварин, швидкий доступ до історії тварини, збільшення удою завдяки доклінічному діагностуванню хвороб, зменшення витрат на ветеринарні препарати, виявлення порушень у технології виробництва молока та відтворення стада, зменшення кількості ялових тварин, підвищення ефективності харчування, підвищення продуктивності та культури праці. Таким чином, основним завданням використання інформаційно-вимірювальних та автоматизованих інформаційно-аналітичних систем є підвищення рентабельності тваринницького комплексу в цілому, зниження витрат на утримання тварин, підвищення ефективності їх експлуатації. Виходячи з цього, подальший розвиток теорії і практики розробки та впровадження інформаційно-вимірювальних та автоматизованих інформаційно-аналітичних систем, з метою покращення їх характеристик, є важливим та актуальним завданням.

Автор вважає своїм обов'язком висловити подяку д. т. н., професору кафедри «Метрологія та промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету, В. Ю. Кучеруку, та головному конструктору ТДВ «Брацлав», заслуженому машинобудівнику України, лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки В. О. Дріго, за підтримку та надані в процесі підготовки монографії важливі зауваження та пропозиції.

1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД

1.1 Особливості функціонування БТСД

Виробництво коров'ячого молока це біотехнічна система, до складу якої входить набір машин, технологій, груп тварин та колективів операторів. До складу таких систем можуть включатися не лише технічні та біологічні об'єкти, а і деякі абстрактні елементи, такі як організація і управління технологічними процесами.

Під біотехнічною системою виробництва молока (БТСВМ) в подальшому розуміється сукупність біологічних та технічних об'єктів, які взаємозв'язані між собою, впливають один на одного, та забезпечують процес виробництва молока. До складу БТСВМ входять тварини та люди, що задіяні у процесі виробництва молока, доїльно-молочні відділення, родильні відділення та відділення для сухостійних тварин, відділення для молодняка, устаткування для виробництва та транспортування кормів та кормових добавок, відповідна транспортна та сільськогосподарська інфраструктура, ветеринарні відділення та засоби, доїльне обладнання, устаткування для первинної обробки молока, вакуумне, гноєзбиральне та гноєпереробне обладнання, інші об'єкти.

Процес отримання молока здійснюється у доїльно-молочному відділенні тваринницької ферми, на частку цього процесу припадає до 70 % затрат людської праці. У відповідності з роботою [1], у якій проведено розробку зоотехнологічних основ функціонування біотехнічних систем доїння і напрямків їх удосконалення, найбільш відповідальним у технології виробництва молока є процес взаємодії людини, молочних тварин та доїльних машин, за допомогою якого забезпечується отримання кінцевого продукту. Цей процес уявляє собою біотехнічну систему доїння (БТСД), до складу якої входить людина, доїльна машина та тварина. У БТСД технічні і технологічні ланки вступають у пряму взаємодію з біологічними об'єктами, схему їх взаємодії наведено на рис. 1.1.

В межах БТСД одночасно реалізується декілька завдань. БТСД повинна створювати такі умови функціонування, які б дозволили тварині реалізувати свій генетичний потенціал і забезпечити високу продуктивність протягом усього періоду експлуатації. Для цього БТСД повинна бути максимально фізіологічною щодо тварин і забезпечува

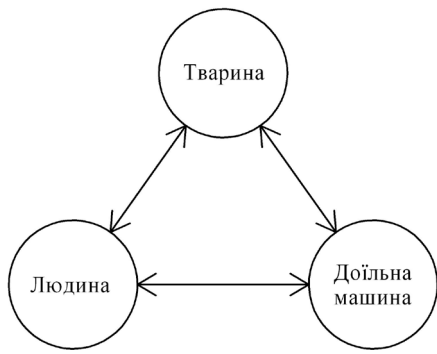


Рисунок 1.1 – Схема взаємодії складових елементів БТСД

ти повноцінну реалізацію рефлексу молоковіддачі. Основне завдання БТСД зводиться до забезпечення якісного видоювання корів.

Рівень ефективності функціонування БТСД в цілому залежить від її складових елементів: доїльної машини, тварини, людини, а також від їх взаємозв'язку. Три вищевказаних складових елементи БТСД можна розглядати як її підсистеми. Кожна з підсистем, у свою чергу, включає низку елементів, до яких входять умови і технологія

утримання тварин, їх індивідуальні особливості, конструкція і режими роботи доїльного обладнання, кваліфікація і індивідуальні характеристики операторів машинного доїння, а також умови їх роботи. Ефективне функціонування БТСД в цілому залежить від відповідності окремих підсистем фізіологічним потребам тварин і якості взаємозв'язків між ними. Внаслідок взаємодії підсистем, вихідні параметри БТСД в певній мірі характеризують стан кожної з них. Також вихідні параметри кожної окремої підсистеми характеризують стан інших підсистем, що входять до складу БТСД.

Практика виробництва молока показує, що в однотипних виробничих умовах, при використанні одних і тих самих доїльних установок, апаратів і тварин, різні оператори машинного доїння одержують різні показники продуктивності, якості молока і захворюваності корів маститом. Виходячи з цього, ефективність систем доїння, у значній мірі залежить від відношення оператора до своїх обов'язків. Особливо значну роль відіграє людина в недосконалих системах доїння, де на неї покладається виконання дуже важливих і в той же час трудомістких технологічних операцій, пов'язаних з підготовкою тварин до доїння, підключенням доїльних апаратів, проведення додоювання тварин, зніманням доїльних апаратів. Важливий вплив на якісні характеристики роботи оператора машинного доїння має також комплексний показник ергономічності доїльної установки.

В БТСД на реалізацію рефлексу молоковіддачі та захворюваність тварин маститом в значній мірі впливають типи доїльних апаратів, режими їх роботи, тип доїльної установки, спосіб утримання тварин, технологія і стереотип доїння. Так, наприклад, відсутність у складі доїльної установки систем підготовки тварин до доїння та систем конт-

ролю за процесом доїння, призводить до систематичних порушень технологічного процесу, зниження секреторної функції молочної залози, високого рівня захворюваності тварин маститом, зниження якості молока і погіршення санітарного стану дійкової гуми, суттєвого збільшення бактеріальної заплідненості молока.

Ефективність функціонування БТСД, окрім технологічної ланки та людського фактора, залежить від індивідуальних характеристик тварин, зокрема від їх стресостійкості та придатності до машинного доїння. Наявність у стаді навіть незначної кількості непридатних до машинного доїння тварин призводить до постійних порушень технологічного процесу доїння. Високопродуктивні тварини практично за всіма показниками придатності до машинного доїння виходять за рамки існуючих вимог. Наявність у стаді таких тварин також призводить до порушень технологічного процесу. Тільки використання спеціалізованих доїльних установок для високопродуктивних тварин може вирішити цю проблему. Для забезпечення ефективного функціонування БТСД необхідна спрямована селекційна робота із створення однорідних стад тварин с високими адаптаційними можливостями і придатних до машинного доїння.

БТСД, внаслідок її багатовимірності, внутрішніх зв'язків, змінних умов, нестабільності режимів, вимагає високого рівня досконалості. Практика виробництва молока свідчить, що існуючі системи доїння та технічні засоби, не завжди забезпечують високоякісне виконання технологічного процесу і адекватного взаємозв'язку між підсистемами БТСД, є недостатньо ефективними і потребують подальшого удосконалення. Підвищення ефективності тваринницьких ферм потребує оптимізації варіантів взаємодії чинників «людина–машина–тварина» у різних системах доїння, удосконалення технології доїння, доїльних установок та апаратів, засобів вимірювання (ЗВ) та контролю параметрів технологічного процесу виробництва молока.

Сучасні тваринницькі ферми з великою кількістю тварин та їх доїльно-молочні відділення потребують впровадження технічних рішень, котрі дають можливість відслідковувати розвиток кожної тварини і оптимально керувати процесом її утримання. Системи автоматичного управління тваринницькою фермою (САУТФ) в автоматичному режимі забезпечують комплексне управління технологічним процесом виробництва молока, оптимізацію продуктивності тварин, здоров'я стада, репродуктивної здатності стада, годівлі, ефективністю праці обслуговуючого персоналу. Також при їх використанні здійснюється автоматичне створення календарних планів необхідних заходів, облік

готового продукту, аналіз та контроль зоотехнічних параметрів тварин, аналіз показників роботи технологічного обладнання, виконуються різноманітні технологічні операції та процедури. Використання САУТФ забезпечує ефективне управління стадом та тваринницькою фермою в цілому. Невід'ємною складовою сучасних САУТФ є ЗВ та контролю параметрів різноманітних технологічних процесів, які є складовою частиною процесу виробництва молока. Серед таких засобів особливо важливу роль відіграють інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). Якість забезпечення взаємозв'язку між підсистемами БТСД, в значній мірі залежить від метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем параметрів біотехнічної системи доїння (ІВС ПБТСД), яка, як правило, є складовою частиною САУТФ. Виходячи з цього, подальший розвиток теорії таких систем, покращення їх метрологічних та інших технічних характеристик, є важливим та актуальним завданням.

1.2 Класифікація інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм

Інформаційно-вимірювальні системи для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм (ІВС ДМВТФ) призначені для отримання вимірювальної інформації про параметри технологічних процесів у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм, необхідного перетворення цієї інформації, її обробки, представлення у необхідному вигляді, автоматичного здійснення функцій контролю, діагностики, ідентифікації. В більшості випадків ІВС ДМВТФ є складовою частиною сучасних САУТФ, або працюють у комплексі з ними, але у деяких випадках можуть використовуватися автономно. За допомогою вищевказаних систем здійснюється загальний облік удою на фермі, визначаються параметри молока, вимірюються та контролюються зоотехнічні параметри тварин, здійснюється вимірювання та контроль необхідних параметрів технологічного обладнання та параметрів технологічних процесів, виконуються інші необхідні операції.

У теперішній час, в спектрі продукції усіх основних світових виробників доїльного обладнання присутні САУТФ та ІВС ДМВТФ. Такі системи пропонує вітчизняний виробник ТДВ «Брацлав» [2, 3], шведська компанія «DeLaval» [4, 5], німецькі компанії «GEA» [6–11] та «Impulsa AG» [12], ізраїльські компанії «Afimilk» [13, 14] та «S.C.R.» [15, 16], російська компанія «Фемакс» [17, 18], американська компанія «Boumatic» [19–21], італійська компанія «Panazoo» [22, 23],

датська компанія «SAC» [24], голландська компанія «Lely» [25], інші виробники. На рис. 1.2 наведено розроблену на основі аналізу продукції світових виробників доїльного обладнання класифікацію ІВС ДМВТФ [26, 27].

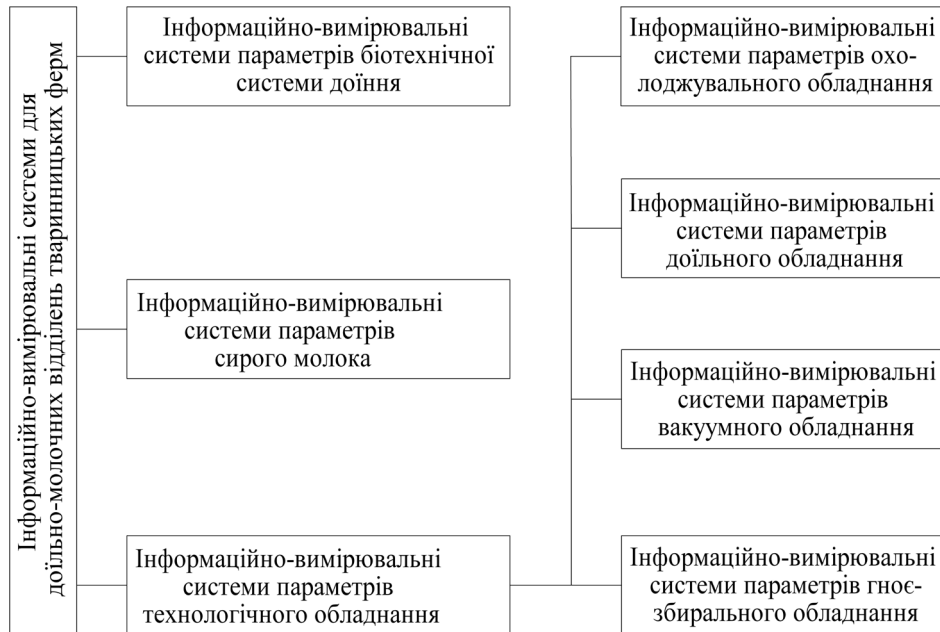


Рисунок 1.2 – Класифікація ІВС ДМВТФ

У відповідності з рис. 1.2, ІВС ДМВТФ поділяються на три групи. До першої групи відносяться ІВС ПБТСД, за допомогою цих систем забезпечується автоматичне вимірювання та контроль усього комплексу зоотехнічних параметрів тварин, параметрів, які характеризують якість роботи обслуговуючого персоналу ферми, параметрів технологічного процесу отримання молока, які необхідні для аналізу якості функціонування БТСД [28–30].

На основі результатів вимірювання та контролю вищевказаних параметрів здійснюється ефективне управління стадом та тваринницькою фермою в цілому. ІВС ПБТСД використовуються у технологічному процесі виробництва молока при усіх способах утримання тварин та усіх видах доїльних установок, що підвищує ефективність молочного господарства [31].

До другої групи відносяться ІВС параметрів сирого молока (ІВС ПСМ). Вони використовуються як виробниками, так і покупцями молока для контролю його якості в процесі отримання та приймання готового продукту. За допомогою ІВС ПСМ вимірюються або контролюються такі параметри молока: жирність, процентний вміст

соматичних клітин, густина, в'язкість, рН, процентний вміст білку, процентний вміст лактози, температура, вміст води, вміст солі, температура замерзання, бактеріальна заплідненість, іноді деякі інші параметри [32].

До третьої групи відносяться ІВС параметрів технологічного обладнання (ІВС ПТО). Вони в свою чергу поділяються на ІВС параметрів гноєзбирального обладнання (ІВС ПГЗО), ІВС параметрів вакуумного обладнання (ІВС ПВО), ІВС параметрів доїльного обладнання (ІВС ПДО), ІВС параметрів охолоджувального обладнання (ІВС ПОО).

За допомогою ІВС ПГЗО вимірюються або контролюються параметри, необхідні для забезпечення роботи гноєзбирального обладнання. На сучасних фермах, як правило, використовуються скреперні гноєзбиральні системи. Для забезпечення їх роботи необхідно здійснювати вимірювання лінійного зміщення скребка відносно початкового положення. У холодну пору року скребок може примерзнути до підлоги, для запобігання цьому здійснюється вимірювання температури підлоги, при її зниженні до $+1^{\circ}\text{C}$ забезпечуються періодичні антипримерзальні рухи скребка. Для калібрування скреперної системи, компенсації зміни довжини троса, реалізації алгоритму усунення перешкод, здійснюється вимірювання середнього струму споживання привідного електродвигуна. Окрім цього, здійснюється вимірювання поточного часу з метою забезпечення періодичного запуску гноєзбиральної системи [33].

При використанні ІВС ПВО, на основі результатів вимірювання струму споживання у кожній фазі, фазних напруг, температури обмоток, кутової швидкості обертання, здійснюється автоматичний контроль технічного стану основного та резервного електродвигунів вакуумної установки, вимірюється розрідження у різних місцях вакуумпроводу. Результати вимірювання розрідження використовуються системою автоматичного управління вакуумом з метою управління кутовою швидкістю електродвигунів для підтримання оптимального значення розрідження у вакуумпроводі [2, 34].

ІВС ПДО призначені для вимірювання та контролю комплексу параметрів доїльного обладнання, який залежить від типу доїльної установки та типу доїльних апаратів. До параметрів доїльного обладнання відносяться шпаруватість, амплітуда, частота, тривалість, співвідношення тактів, тривалість перехідних процесів та фронтів пульсуючого вакууму у доїльних стаканах доїльних апаратів. Також ці системи здійснюють автоматичний контроль технічного стану та діагностику

вакуумпроводу, контроль наявності пульсацій у доїльних стаканах, контроль технічного стану пульсаторів, контроль положення маніпулятора з метою запобігання його падінню, вимірювання температури та рівня води і миючих засобів у системі промивання доїльної установки, рівня молока у молокоприймальній ємності, деяких інших, специфічних для кожної доїльної установки параметрів [28].

Невід'ємною складовою частиною процесу виробництва молока є його охолодження. Завдяки зниженню температури створюються умови, при яких стримується розвиток мікроорганізмів. Внаслідок цього якість молока та його властивості зберігаються протягом тривалого часу [35, 36]. За допомогою ІВС ПОО здійснюється вимірювання та контроль рівня, температури та ваги сирого молока у охолоджувальних ємностях. На основі результатів цих вимірювань забезпечується контроль функціонування та управління роботою складових елементів охолоджувального обладнання. Окрім того, ІВС ПОО здійснюють контроль та діагностику технічного стану елементів охолоджувального обладнання на основі результатів вимірювання їх параметрів.

1.3 Особливості параметрів БТСД

Для конкретизації переліку вимірюваних та контрольованих параметрів БТСД, розглянемо основні положення нейрогормональної теорії лактації [28, 37]. На рис. 1.3 наведено схематичне зображення рефлекторної регуляції молоковиддачі у корів, а на рис. 1.4 – залежність, яка характеризує виведення молока з молочної залози.

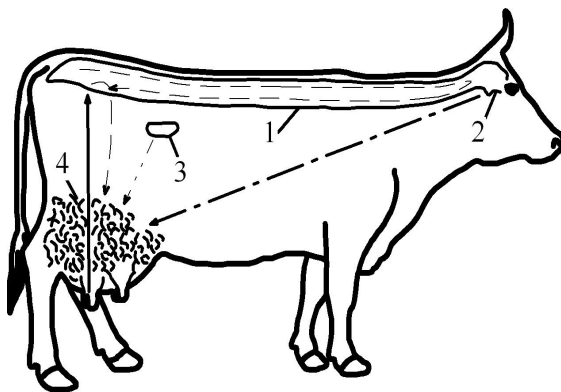


Рисунок 1.3 – Схема рефлекторної регуляції молоковиддачі у корів: 1 – спинний мозок; 2 – гіпофіз; 3 – наднирники; 4 – молочна залоза

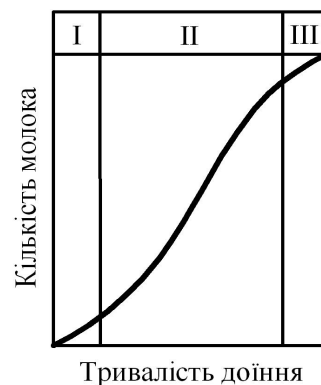


Рисунок 1.4 – Залежність, яка характеризує виведення молока з молочної залози

Оптимізація взаємодії доїльної машини, людини та тварини, створення доїльного апарата та іншого технологічного обладнання, яке забезпечує ефективну стимуляцію рефлексу молоковіддачі та підвищення продуктивності тварин, є складним науково-технічним завданням комплексного характеру, яке на сьогоднішній день повністю не вирішено. Уся історія розвитку машинного доїння пов'язана з дослідженням БТСД, різні аспекти та дослідження за цією тематикою розглянуті у роботах [1, 38–41].

Під час процесу доїння руки дояра або спеціальна дійкова гума доїльних стаканів доїльного апарата механічно діє на рецептори молочної залози, які знаходяться глибоко у тканинах дійки, особливо в їх основі. Внаслідок подразнення рецепторів чвертей вимені виникає нервово збудження, яке по волокнах зовнішнього сім'яного нерва досягає спинного мозку. В спинному мозку в поперековій частині нервовий сигнал, як наведено на рис. 1.3, розділяється на два сигнали. Один з сигналів по короткій дузі повертається до м'язових елементів молочної залози цистернального відділу. В результаті відбувається розслаблення цистерни і молоко виводиться з самої цистерни та крупних вивідних протоків (цистернальна порція). Це перша фаза рефлексу молоковіддачі, яка виникає через 2–6 с після механічного впливу та продовжується 25–30 с. По другій довгій дузі нервові імпульси передаються до гіпофізу, який забезпечує виділення гормону окситоцину в кров. Окситоцин, який потрапив у кров, досягаючи молочної залози, викликає скорочення міоепітеліальних клітин альвеол. В результаті, протягом другої фази, виникає виведення молока, яке знаходиться в альвеолах. Час від початку подразнення дійок до припуску молока, так званий латентний період, в середньому складає 40–50 с. Тривалість латентного періоду протягом лактації збільшується, і на 6–7 місяці лактації триває більше однієї хвилини. Необхідна для молоковіддачі концентрація окситоцину в крові підтримується короткий термін – від 2 до 5 хвилин, максимум – до 7 хвилин. Руйнація окситоцину в крові супроводжується закінченням рефлексу молоковіддачі. Це явище є фізіологічною основою для важливого правила доїння: доїння повинно відбуватися так, щоб максимально використати дію рефлексу молоковіддачі. Окситоцин, не досягаючи з кров'ю вимені тварини, не викликає підвищення внутрішньовим'яного тиску, необхідного для виділення молока в процесі доїння. Високий рівень тиску у порожнинах молочної залози утримується протягом 1,5–2 хвилини, після чого поступово починає знижуватись. У відповідності з фізіологічними дослідженнями, виходячи із значення внутрішньоцистернального тиску,

лактаційний рефлекс у корів складає приблизно 4–5 хвилин. У середньому вважають, що при нормальних умовах доїння тиск починає знижуватися після того, як відбудеться видоювання 50 % молока. За 4–5 хвилин корова повинна віддати не менше 80–90 % молока від удою, після чого починається третя фаза доїння, під час якої здійснюється додоювання. Для виникнення повноцінного рефлексу молоковіддачі, необхідний енергійний масаж вимені та сильні стискання діжок, тому що нервові закінчення закладені глибоко в шкірі діжки, а також у її слизовій оболонці та цистерні. Якість виконання цієї операції залежить від відповідальності оператора. На великих фермах при використанні високопродуктивних доїльних установок цей фактор може сильно впливати на продуктивність та виробництво молока в цілому.

Для оцінки якості виконання доярами своїх обов'язків, за допомогою сучасних ІВС ПБТСД здійснюється вимірювання та контроль низки параметрів, більшість з яких регламентуються стандартом [42]. Якість роботи доярів, певною мірою, характеризує тривалість роботи доїльної установки T_U , яка повинна знаходитись в межах, які залежать від статистичних характеристик стада або групи тварин, кількості доїльних апаратів, кількості тварин, алгоритму роботи доїльного апарата, типу доїльної установки, якості роботи дояра, інших факторів. Також робота доярів характеризується кількістю повторних під'єднань доїльних стаканів K_{PDS} , кількістю випадків холостих доїнь K_{HD} (доїльний апарат працює, а припуску молока немає), тривалістю холостих доїнь T_{HD} , кількістю відпадань доїльного апарата K_{DA} .

Тривалість доїння t_{TD} певним чином характеризує стан тварини. Якщо тривалість доїння конкретної тварини значно збільшилася у порівнянні з середнім значенням, це може свідчити про погану підготовку тварини до доїння доярем, або наявність стресового стану. Середнє значення тривалості доїння конкретної тварини змінюється протягом періоду лактації та визначається шляхом усереднення певної кількості результатів вимірювань [43].

Середня інтенсивність молоковіддачі I_{MS} також певним чином характеризує стан тварини, її визначають як відношення разового удою до тривалості доїння [44]. Якщо середня інтенсивність молоковіддачі конкретної тварини значно зменшилася у порівнянні з середнім значенням, це може свідчити про наявність маститу, або погану підготовку тварини до доїння, або наявність стресового стану. Середнє значення інтенсивності молоковіддачі конкретної тварини може

визначатися шляхом усереднення результатів багаторазових вимірювань.

Миттєве значення інтенсивності молоковіддачі I_{MV} контролюється протягом усього доїння з метою визначення моменту переходу до режиму додоювання та моменту закінчення доїння і автоматичного або ручного зняття доїльних стаканів. На рис. 1.5 наведено типовий графік залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу протягом доїння без додоювання та з додоюванням [2, 3].

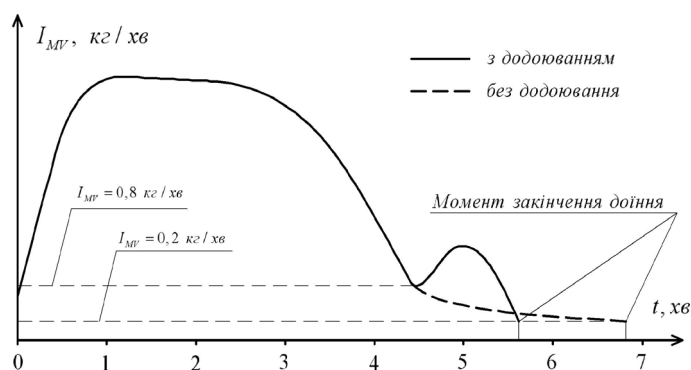


Рисунок 1.5 – Залежність миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу протягом доїння з додоюванням та без додоювання

При використанні доїльного апарата з функцією додоювання,

перехід до цієї фази відбувається при досягненні миттєвої інтенсивності молоковіддачі значення 0,8 кг/хв. Критерієм необхідності закінчення доїння є досягнення миттєвою інтенсивністю молоковіддачі значення 0,2 кг/хв. Слід відзначити, що середня щільність сирого молока складає від 1,026 г/см³ до 1,034 г/см³ [32]. Відповідно, виміряне у л/хв значення інтенсивності молоковіддачі, та виміряне у об'ємних одиницях значення удою, легко перераховується у кг/хв та кг.

Важливими параметрами БТСД, які характеризують якість роботи дояра, є інтенсивність молоковіддачі в перші тридцять секунд після початку доїння I_{30} , інтенсивність молоковіддачі на часовому проміжку від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння I_{60} , інтенсивність молоковіддачі на часовому проміжку від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння I_{90} . Параметр I_{30} повинен мати значення не менше ніж 1,5 кг/хв, а параметри I_{60} та I_{90} знаходяться в межах від 4 кг/хв до 11 кг/хв. Відхилення цих параметрів від норми свідчить про неякісну підготовку тварини до доїння, наявність у тварини стресового стану, можливу наявність маститу [28].

Важливим показником стану тварини та якості роботи дояра є латентний період. Для вимірювання латентного періоду необхідно визначити момент початку подразнення дійок, що на практиці зробити дуже важко. Тому вимірювання латентного періоду замінюють вимірюванням часу припуску молока T_p , який визначається як час після

початку доїння, за який удій тварини склав 100 г молока. В середньому, якщо тварина не тугодійна, не хвора, не знаходиться в стані стресу та якісно підготовлена доярцем до доїння, то протягом 20 с після початку доїння її мінімальний удій повинен складати 100 г молока [45]. Якщо час, за який було отримано 100 г молока, більший норми, це свідчить про стресовий стан тварини, який можливо виник внаслідок неякісної підготовки її до доїння.

Також одним з найважливіших параметрів БТСД є удій тварини. Розрізняють разовий удій V_R протягом одного доїння, добовий удій V_D , удій за період лактації V_L . Суттєве зниження разового або добового удою свідчить про можливе захворювання тварини, або її стресовий стан, або про неналежне виконання своїх обов'язків доярцем під час підготовки тварини до доїння. На сучасних молочних фермах доїння може здійснюватись два рази на добу – вранці та ввечері, або три рази на добу – вранці, вдень та ввечері. Згідно з зоотехнічними нормами [46, 47], якщо ранковий, денний, або вечірній удій менший на двадцять і більше відсотків аналогічного удою за попередній день, то це є ознакою неякісної підготовки тварини до доїння доярцем.

Чесальні установки широко використовуються у сучасних доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм при безприв'язному утриманні тварин. Вони забезпечують підвищення комфорту тварини, збільшують середній добовий удій, зменшують стресовий стан тварини, зменшують втрати на лікування тварин та ремонт стійлового обладнання. Окрім того, правильне розташування чесальних установок, допомагає організувати оптимальний рух тварин у корівнику і сприяє їх природній поведінці [48]. Згідно з [49], в середньому тварина користується чесальною установкою від трьох до семи разів на добу. На основі аналізу результатів спостереження чесальної активності тварин протягом лактаційного періоду, для кожної тварини визначається норма користування чесальною установкою $C_{\min} - C_{\max}$. Суттєве збільшення чесальної активності свідчить про високу імовірність наявності у тварини шкірних захворювань, кліщів або стану «охоти», суттєве зменшення чесальної активності може бути ознакою захворювання тварини, її поганого стану, наявності стресу.

Температура тіла тварини є важливим показником її стану. З метою раннього розпізнавання хвороб необхідно контролювати ректальну температуру тіла тварини. Контроль температури здійснюється під час планових ветеринарних оглядів та під час знаходження тварини на доїльній установці. Результати контролю температури за допомогою

відповідних технічних засобів передаються до сервера ІВС ПБТСД. Дуже часто підвищення температури, або ж навпаки, її зниження – це перша ознака початку захворювання, яке можна розпізнати. Необхідним є проведення періодичних вимірювань температури всім коровам в перші 7 днів після отелення. Доцільним є також періодичний контроль температури протягом усього лактаційного періоду та сухостою. Нормальна температура тіла у великої рогатої худоби, так само як і у всіх теплокровних, порівняно постійна, і у дорослої тварини знаходиться в діапазоні від $T_{\min} = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{\min} = 39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але інколи у повністю здорових тварин показники можуть бути трохи вищими або нижчими вказаної норми, підвищеною вважається температура більша $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тварина віддає тепло через пониження кровообігу в шкірі, виділення тепла також підвищується завдяки більш інтенсивному обміну речовин і можливому тремтінню м'язів. Підвищення температури спричиняють ендогенні або екзогенні речовини, так звані пірогени. Вони виробляються в організмі у відповідь на різні стимули, найчастіше це інфекції або запалення. Екзогенні пірогени представлені в основному мікроорганізмами, їх токсинами і продуктами життєдіяльності. Зниження температури не завжди означає одужання. Так, у випадку колімастити температура може як підвищуватися, так і знижуватися. Хронічні запалення (наприклад, запалення шкіри живота при пошкодженні чужорідним тілом) часто проходять без підвищення температури. Найчастіше, причиною підвищення температури в період після отелення, є післяотельна інтоксикація. Вона виникає, коли в матці починається розклад бактеріями плодової оболонки і навколоплідних вод. Такий стан часто спостерігається разом з затримкою посліду, субклінічною нестачею кальцію, нестачею селену, а також ускладненням під час отелення. Друга причина, яка найчастіше є причиною підвищення температури, це мастити. Причини маститу – незадовільна гігієна корівника та доїння, а також незадовільна організація годівлі. При порушенні загального стану і підвищенні температури потрібне швидке і ефективне лікування для того, щоб уникнути подальшого спаду продуктивності або ж втрати тварини [49, 50].

Вага тварини M_T є важливим параметром тварини, який підлягає періодичному контролю. Корів необхідно зважувати з таких причин. Продуктивна і репродуктивна здатність молочної корови під час лактації визначається її станом під час сухостійного періоду і періоду після отелення. Високопродуктивним коровам на перехідній стадії після отелення потрібно більше енергії, ніж вони споживають для виробітку

молока і підтримки маси тіла. Тому їх енергетичний баланс може стати від'ємним, а отже, підвищується ризик метаболічних порушень і взагалі проблем зі здоров'ям. Зазвичай вага і енергетичний баланс корови починають відновлюватися через 30–40 днів після отелення. Якщо це не відбувається, виникає загроза порушення удою і репродукції. Тому дуже важливо контролювати зміну стану тіла під час лактації для того, щоб розпізнати і лікувати корів які піддаються розладам пов'язаним з отеленням і метаболічними порушеннями. Окрім того, своєчасний контроль ваги дозволяє розпізнавати корів із запізніним відновленням ваги після отелення, визначати втрати або приріст ваги протягом сухостійного періоду, оцінювати споживання сухих речовин, проводити моніторинг стресів та проблем зі здоров'ям, проводити ретроспективний аналіз змін в харчуванні [49, 50].

У теперішній час мастит є однією з найбільших проблем молочного скотарства у багатьох країнах світу. Внаслідок захворювання на мастит знижується продуктивність тварин, погіршується якість молока та його технологічні властивості, підвищуються витрати на діагностику і лікування тварин, виникає соціальна загроза попадання маститного молока у продаж, недоодержуються телята, ускладнюється племінна робота [51]. При виникненні маститу змінюється цілий комплекс параметрів сирого молока, в тому числі його електропровідність. У відповідності з [52], коефіцієнт кореляції між електропровідністю та вмістом кальцію у сирому молоці складає $\rho = -0,650$, між електропровідністю та вмістом фосфору $\rho = -0,479$, між електропровідністю та вмістом калію $\rho = -0,543$, між електропровідністю та вмістом натрію $\rho = 0,785$, між електропровідністю та рН $\rho = 0,680$, між електропровідністю та жирністю $\rho = -0,642$, між електропровідністю та вмістом лактози $\rho = -0,766$, між електропровідністю та кількістю соматичних клітин $\rho = 0,764$. Найбільший вплив на збільшення значення електропровідності молока мають іони хлоридів та натрію, концентрація яких при маститах збільшується [32, 53–55]. Виходячи з цього, шляхом вимірювального контролю значення однієї тільки електропровідності, можна з доволі високим ступенем вірогідності діагностувати мастит, в тому числі на початкових стадіях. Вимірювальний контроль електропровідності молока відрізняється простотою, достатньою точністю отриманих результатів, вірогідно відображає процеси, які відбуваються у молочній залозі. Внаслідок цього, у теперішній час найбільш розповсюдженим способом автоматичного виявлення маститу є вимірювальний контроль електропровідності сирого молока під

час процесу його отримання [56–61]. При збільшенні температури електропровідність молока лінійно збільшується [32, 62, 63]. Таким чином, із зміною температури молока змінюються межі допустимого значення електропровідності. Виходячи з цього, вимірювальний канал електропровідності повинен бути термокомпенсованим, або разом з електропровідністю необхідно вимірювати температуру молока з метою внесення відповідної поправки до меж допуску [64]. Для виявлення чверті вимені, яка вражена маститом, вимірювальний контроль електропровідності часто здійснюють для кожної чверті вимені окремо. Зменшення електропровідності молока нижче мінімально допустимого значення може свідчити про фальсифікацію результатів удою персоналом ферми шляхом розбавлення молока водою, що дуже часто зустрічається на фермах з прив'язним утриманням тварин. Отримані результати ставляться у відповідність стадному номеру тварини та передаються до сервера ІВС ПБТСД. Окрім того, як правило у ІВС ПБТСД передбачена можливість введення інформації про результати ручної планової перевірки на мастит за допомогою хімічних або інших засобів.

При фальсифікації доярами результатів удою, окрім зменшення електропровідності молока, збільшується абсорбція світлового потоку, особливо у інфрачервоній ділянці спектру [32]. Для виявлення таких фактів, особливо при прив'язному утриманні тварин, у ІВС ПБТСД на стійлових доїльних установках використовують відповідні засоби вимірювального контролю.

Активність є важливим параметром тварини, який визначається як середнє значення кількості її рухів протягом певних часових проміжків [65]. Активність під час стадії збудження є вірогідно вищою, ніж під час стадії гальмування та зрівноважування статевого циклу. На основі результатів вимірювального контролю активності тварин визначають оптимальний час їх осіменіння [66]. У відповідності з [67], при відсутності автоматичного контролю активності за допомогою відповідних технічних засобів, від 6 до 20 % тварин осіменяється поза межами оптимального часу, за повторного осіменіння – від 8 до 19 % тільних тварин осіменяється поза межами оптимального часу [68]. Ця обставина зумовлена неповноцінним проявом ознак стадії збудження під час статевого циклу [67], скороченням часу та синхронного прояву охоти у високопродуктивних тварин [69], обмеженням візуального контролю з боку обслуговуючого персоналу за безприв'язного утримання [66]. Наслідком цього є збільшення розмірів неплідності та економічні збитки скотарського підприємства. Зменшення активності

тварини є ознакою поганого самопочуття, яке може бути зумовлено захворюванням, травмою, або стресовим станом. Вимірювальний контроль активності тварин здійснюється за допомогою відповідних технічних засобів, які, як правило, реалізовані на основі гіроскопічних первинних вимірювальних перетворювачів (ВП) та інтегровані до активних транспондерів. В більшості випадків, виміряне значення активності порівнюється з нормою, яка залежить від методу вимірювання, способу утримання тварин, фізіологічних параметрів тварини або групи тварин, інших факторів. Іноді норму активності встановлюють окремо для кожної тварини на основі результатів спостережень протягом певного періоду під час стадії гальмування та зрівноважування статевого циклу. Вимірювальна інформація про активність тварини передається до сервера ІВС ПБТСД під час підготовки тварини до доїння або під час доїння, отримані результати ставляться у відповідність стадному номеру тварини. Окрім того, доїльні установки як правило обладнані технічними засобами, які забезпечують введення інформації про стан охоти у тварини в ручному режимі. Ця інформація вводиться обслуговуючим персоналом доїльно-молочного відділення ферми та отримується на основі результатів візуального спостереження за тваринами. У відповідності з [70–74], при використанні автоматичного контролю активності тварин вдається виявити від 60 до 99 % тварин, які знаходяться в стані охоти.

Румінація (жувальна діяльність або активність) є важливим показником стану здоров'я тварини. Зміни румінації є ознакою виникнення змін у її системі травлення [75]. Чим раніше отримується інформація про проблеми у системі травлення тварини, тим менше витрат буде потрібно на її лікування [76, 77]. Сучасними дослідженнями встановлено, що понад 40 % дійного стада після отелення потенційно є групою ризику за різноманітними ускладненнями, зумовленими порушеннями системи травлення. Наявність постійного надходження інформації про рівень румінації у тварин сприяє ранній діагностиці потенційних проблем здоров'я, забезпечує моніторинг ефективності лікування тварин у стаді, дозволяє своєчасно виявляти можливі проблеми у годівлі тварин. Про значний зв'язок румінації з показниками продуктивності тварин та станом їх здоров'я свідчать дослідження, наведені у [78–81]. Значне зменшення жувальної активності відносно нормального для тварини значення може свідчити про наявність певних захворювань або стресового стану. Збільшення жувальної активності може бути ознакою стану «охоти» у тварини. Румінація, визначається тільки при використанні активних транспондерів, до яких

інтегрований відповідний ЗВ. До складу транспондера з ЗВ румінації входить пам'ять для збереження результатів вимірювання, мікрофон, який жорстко закріплений на боковій частині шиї тварини, мікроконтролер з відповідним програмним забезпеченням, призначеним для обробки вихідного сигналу мікрофона для визначення тривалості і ритму жування тварини і інтервалів між відригуваннями [76, 81, 82]. Вимірне значення румінації порівнюється з нормою, яка може визначатися окремо для кожної тварини на основі результатів спостережень протягом певного періоду, або визначається на основі статистичних параметрів тварин. Вимірювальна інформація про румінацію тварини передається до сервера ІВС ПБТСД під час підготовки тварини до доїння або під час доїння.

Оцінка стану тварини на основі результатів вимірювання одного параметра БТСД має відносно низьку достовірність внаслідок наявності великої кількості факторів, які впливають на його значення. У відповідності з [83–87], відхилення стану тварини від норми супроводжується одночасною зміною певної кількості параметрів БТСД. На рис. 1.6, для прикладу, наведені типові експериментальні залежності добового удою та електропровідності молока, від дня лактації, при виникненні маститу [14]. Як випливає з рис. 1.6, майже одночасно із збільшенням електропровідності значно зменшується добовий удій. Експериментальне виявлення цих двох факторів свідчить про наявність у тварини початкових стадій маститу з достатньо високим ступенем імовірності. Але остаточний висновок можна зробити тільки після проведення відповідних лабораторних досліджень проб молока та секретів вимені. При використанні безперервного моніторингу параметрів БТСД можливе вчасне виявлення низки хвороб та відхилень стану тварин від норми, внаслідок чого значно зменшуються витрати на лікування тварин, знижується ризик зменшення їх продуктивності.

У більшості ІВС ПБТСД здійснюється вимірювання та

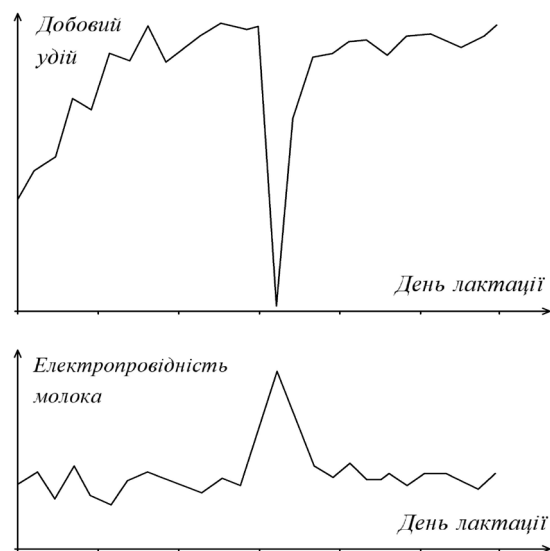


Рисунок 1.6 – Типові експериментальні залежності добового удою та електропровідності молока від дня лактації при виникненні маститу

контроль параметрів БТСД, які стосуються певних груп тварин. До таких параметрів, відносяться: загальна кількість отриманого молока V_S ; загальний удій певної групи тварин V_G ; удій, отриманий кожним доярем V_D ; загальний удій отриманий у доїльному станку V_{ST} ; тривалість роботи установки T_U ; середній удій тварини у групі або стаді за добу V_{SD} ; середній удій тварини у групі або стаді за період лактації V_{SL} ; середній час доїння тварини у групі або стаді t_{DS} ; параметри сирого молока, яке отримано від групи тварин.

Також у багатьох ІВС ПБТСД відбувається вимірювання та контроль параметрів доїльної машини, яка є складовим елементом БТСД. До таких параметрів відносяться характеристики пульсуючого вакууму у доїльних стаканах доїльних апаратів, параметри, які характеризують технічний стан пульсатора, параметри, які характеризують положення маніпулятора та доїльних стаканів.

1.4 Узагальнена структурна схема ІВС ПБТСД

В переважній більшості випадків ІВС ПБТСД є одним з найважливіших елементів ІВС ДМВТФ та САУТФ, вони мають такі особливості [29, 30, 84]. Потіки вимірювальної інформації у ІВС ПБТСД мають випадковий характер, характеристики інформаційних потоків в значній мірі визначаються типом доїльної установки, об'єм вимірювальної та допоміжної інформації у ІВС ПБТСД відносно невеликий, тому не виникає необхідності у використанні швидкодійних інтерфейсів для обміну даними. Найбільш важливими параметрами інтерфейсу, у цьому випадку, є його надійність, життєздатність та завадостійкість, тому що робота ІВС ПБТСД здійснюється в умовах високого рівня промислових завод та великої імовірності механічних пошкоджень елементів системи. За допомогою ІВС ПБТСД здійснюється вимірювання та контроль комплексу різноманітних та різнорідних параметрів БТСД. На основі результатів вимірювального контролю та вимірювання параметрів БТСД може бути виявлено та встановлено підозри на захворювання тварин, виявлено їх стресовий стан, проведено оцінку якості підготовки доярем тварин до доїння, проведено комплексну оцінку якості роботи персоналу ферми, проведено аналіз якості селекційної підібраності стада або груп тварин. Іноді параметри тварин, які вимірюються або контролюються за допомогою ІВС ПБТСД, не є індивідуальними параметрами. У деяких випадках вони відносяться до певної групи тварин, склад якої залежить від типу доїльної установки.

На рис. 1.7 наведено запропоновану узагальнену структурну схему ІВС ПБТСД, до складу якої входять усі структурні елементи, використання яких можливе у таких системах [86, 87].

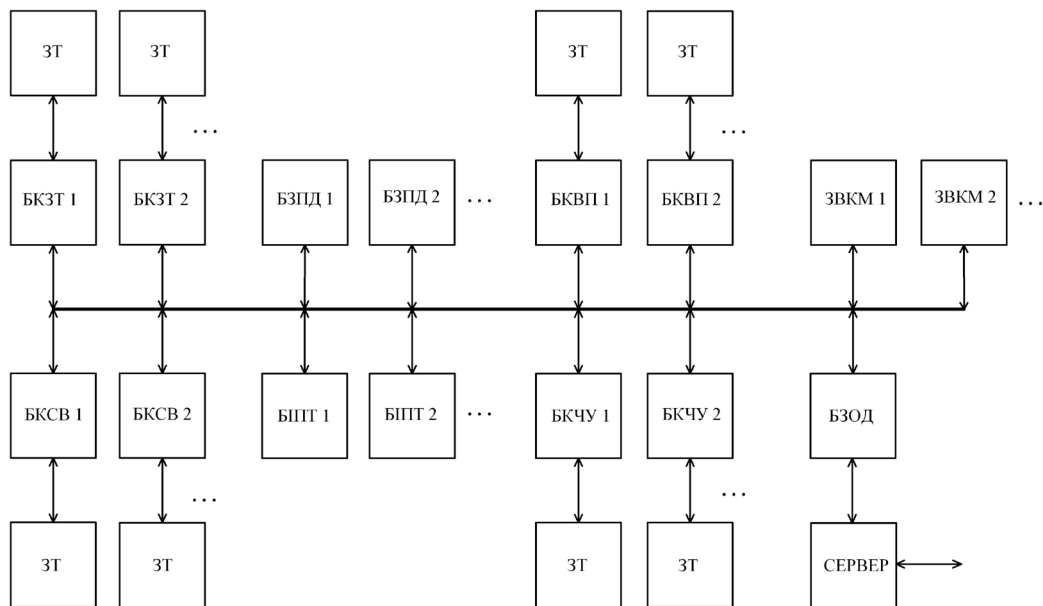


Рисунок 1.7 – Узагальнена структурна схема ІВС ПБТСД

До складу узагальненої ІВС ПБТСД входять блоки забезпечення процесу доїння (БЗПД), блок забезпечення обміну даними (БЗОД), зчитувачі транспондерів (ЗТ), блоки керування зчитувачем транспондерів (БКЗТ), блоки ідентифікації проходження тварини (БІПТ), блоки керування селекційними воротами (БКСВ), блоки керування чесальною установкою (БКЧУ), блоки керування ваговими платформами (БКВП), ЗВ кількості молока (ЗВКМ), сервер з програмним забезпеченням, за допомогою якого забезпечується функціонування системи. Також до складу ІВС ПБТСД можуть входити деякі специфічні структурні елементи, які використовуються в особливих випадках. До таких елементів, наприклад, відноситься ЗВ кутової швидкості платформи конвеєрної доїльної установки, який може бути використаний у системі автоматичного управління її кутовою швидкістю.

Будь-яка доїльна установка має у своєму складі доїльні станки або стійлові місця, розташування яких визначається способом утримання тварин, типом доїльної установки та її структурою. Вони можуть бути обладнані доїльними апаратами з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння, в обох випадках можливе використання ІВС ПБТСД.

Найважливішим складовим елементом більшості ІВС ПБТСД є БЗПД, основним завданням якого є реалізація взаємодії складових елементів БТСД під час доїння. При використанні доїльних роботів, групових та конвеєрних доїльних установок, доїльних установок з прохідними станками, БЗПД стаціонарно встановлюється у доїльному станку разом з доїльним апаратом. На стійловій доїльній установці БЗПД переміщується від стійла до стійла разом з доїльним апаратом та доярем. При використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння, які завжди обладнані електромагнітними пульсаторами, БЗПД забезпечує таке управління роботою пульсатора, яке спрямовано на оптимізацію процесу доїння. Оптимальним є такий процес доїння, під час якого імітується теля, тобто в залежності від вимірюваного значення інтенсивності молоковіддачі змінюється режим пульсацій вакууму у доїльних стаканах і доїльний апарат налаштовується на індивідуальні особливості конкретної тварини. Доїльний апарат без функції керування процесом доїння може бути обладнаний електромагнітним або механічним пульсатором. При використанні таких доїльних апаратів БЗПД не здійснює керування процесом доїння, режим доїння у цьому випадку незмінний, або змінюється в залежності від поточного часу доїння, а не в залежності від інтенсивності молоковіддачі. Також функціональним призначенням БЗПД може бути вимірювання, контроль, візуалізація певної кількості параметрів БТСД, визначення моменту закінчення доїння, зняття доїльного апарата, отримання ідентифікаційної та вимірювальної інформації від транспондерів, які встановлені на тваринах, обмін інформацією з засобами управління воротами на проходах тварин та сервером ІВС ПБТСД, обмін інформацією з іншим обладнанням, яке використовується у доїльно-молочному відділенні тваринницької ферми [2–13]. Окрім цього, за допомогою БЗПД можливе ручне введення та передача до сервера ІВС ПБТСД інформації про температуру тіла тварин, їх вагу, травмованість тварин, наявність та ступінь маститу, наявність стану «охоти», необхідність розколу тварин, травмованість тварини, ознаки, за якими тварину не можна доїти (наприклад застосування антибіотиків для лікування конкретної тварини), інформації про пошкодження або втрату транспондера, деяких інших параметрів [4, 12, 28]. Після закінчення процесу доїння тварини або групи тварин, всю отриману вимірювальну та службову інформацію БЗПД передає до сервера ІВС ПБТСД, де здійснюється її обробка за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Слід відзначити, що на доїльних установках найнижчої цінової категорії, БЗПД можуть бути відсу-

тні, але ІВС ПБТСД може використовуватись. У цьому випадку вимірювання та контроль обмеженої кількості параметрів БТСД забезпечується за допомогою іншого обладнання.

Основним елементом, який забезпечує обмін даними між сервером ІВС ПБТСД та іншими її складовими, є БЗОД. Завданням цього блока є управління потоками даних, які виникають в системі, буферизація та перетворення даних, перетворення інтерфейсів, забезпечення завадостійкості тощо. Уся вимірювальна та службова інформація складовими елементами системи передається до БЗОД, який у свою чергу, після необхідної обробки, передає ці данні до сервера ІВС ПБТСД. Передача даних від сервера до складових елементів системи також здійснюється за посередництва БЗОД.

При використанні у складі ІВС ПБТСД системи ідентифікації тварин, на усіх тваринах стада або на стійлових місцях закріплюються транспондери, отримання інформації від транспондерів здійснюється за допомогою ЗТ. Транспондери можуть бути пасивними або активними, пасивні транспондери на мають власного джерела живлення і використовуються виключно для ідентифікації тварини за її номером. До складу активних транспондерів, які мають власне джерело живлення, можуть входити ЗВ активності та румінації (жувальної активності) [13–16].

БКЗТ призначений для забезпечення живлення ЗТ; керування режимами роботи ЗТ; дешифрації та перетворення даних, які надходять від ЗТ; перетворення інтерфейсів; виявлення помилок читання коду транспондера за допомогою аналізу контрольних сум або інших методів; передачі даних отриманих від ЗТ до інших елементів ІВС ПБТСД. В залежності від способу та місця ідентифікації тварин та типу доїльної установки БКЗТ може бути інтегрований в БЗПД, БКЧУ, БКСВ, БКВП, або бути окремим конструктивом. Також БКЗТ у деяких випадках працює в комплексі з іншими допоміжними пристроями, які беруть участь в ідентифікації тварин.

У багатьох випадках виникає необхідність використання БПТ, за допомогою якого встановлюється факт проходження тварини до доїльного станка доїльної установки, вагової платформи, чесальної установки, селекційних воріт, доїльного робота [14, 88]. Фактично, БПТ здійснює вимірювальну операцію підрахунку тварин у потоці. Необхідність використання БПТ зумовлена тим, що внаслідок втрати транспондера, помилки ідентифікації, біологічних особливостей руху тварин, можлива втрата вимірювальної інформації, яка стосується як

окремих тварин, так і їх груп. Застосування БПТ, в більшості випадків, дозволяє уникнути цих втрат або мінімізувати їх.

За допомогою БКСВ забезпечується управління потоком тварин у доїльно-молочному відділенні тваринницької ферми. Після закінчення процесу доїння тварини виходять з установки та прямують до місця свого утримання. На шляху тварин розташовуються селекційні ворота, за допомогою яких конкретна тварина спрямовується в місце утримання або в спеціальне приміщення, в якому проводяться ветеринарні та зоотехнічні процедури. Кількість БКСВ залежить від типу та структури доїльної установки, управління БКСВ здійснюється за допомогою інформації, яка надходить від сервера ІВС ПБТСД. Кожний БКСВ обладнаний БПТ та ЗТ, відповідно до його складу входить інтегрований БКЗТ. Після ідентифікації у БКСВ аналізується інформація стосовно цієї тварини, яка надійшла від сервера, після чого приймається рішення про напрямок руху цієї тварини. Рішення про розкол може бути прийняте на основі результатів вимірювання параметрів БТСД, або на основі інформації, яку дояр вручну вводить до сервера або БЗПД під час підготовки тварини до доїння або під час доїння (наприклад наявність травми, маститу та ін.).

Сучасні тваринницькі ферми обладнуються автоматичними установками для чесання тварин, які розташовуються у місцях їх утримання. Вони забезпечують підвищення комфорту тварини, збільшують середній добовий удій, зменшують стресовий стан тварини, зменшують витрати на лікування тварин та ремонт стійлового обладнання. Окрім того, правильне розташування чесальних установок допомагає організувати оптимальний рух тварин у корівнику і сприяє їх природній поведінці. Управління чесальною установкою здійснюється за допомогою БКЧУ, який може бути обладнаний ЗТ. Відповідно, у цьому випадку, до складу БКЧУ входить БКЗТ. Після виходу тварини з робочої зони установки, БКЧУ здійснює передачу коду транспондера тварини та інформацію про тривалість її знаходження на установці до сервера ІВС ПБТСД. За допомогою програмного забезпечення, яке знаходиться на сервері, проводиться облік часу та кількості випадків користування конкретною твариною чесальною установкою. У випадку значного відхилення цих параметрів від норми формується відповідне повідомлення обслуговуючому персоналу ферми, після чого визначена тварина досліджується ветеринаром [5].

За допомогою вагової платформи здійснюється вимірювання та контроль ваги тварин. Забезпечення функціонування вагової платформи здійснюється за допомогою БКВП. У сучасних системах цей про-

цес автоматизований, тому вагова платформа обладнується ЗТ, БКЗТ у цьому випадку входить до її складу. При відсутності автоматичних вагових платформ або при відсутності встановлених на них ЗТ, результати вимірювання та контролю ваги вводяться вручну до сервера системи, або до БКВП, після чого дані передаються до сервера.

Будь-яке доїльно-молочне відділення тваринницької ферми має у своєму складі одну або декілька охолоджуючих ємностей для зберігання молока, де воно переміщується та охолоджується протягом часу зберігання. Усі розрахунки з покупцями молока здійснюються на основі результатів вимірювання його кількості у охолоджувальних ємностях. Для вимірювання кількості молока у охолоджувальних ємностях використовується ЗВКМ, який є складовою частиною ІВС ПБТСД [28]. В більшості випадків кількість молока визначається шляхом непрямого вимірювання, на основі результатів прямого вимірювання його рівня, як в автоматичному, так і в ручному режимі.

1.5 Класифікація ІВС ПБТСД

ІВС ПБТСД забезпечують представлення отриманої інформації про параметри БТСД у вигляді, необхідному для операторів, а також передає необхідні дані до ІВС ДМВТФ та САУТФ. Розглянемо розроблену класифікацію ІВС ПБТСД [26, 27], яка наведена на рис. 1.8.

У відповідності з рис. 1.8, ІВС ПБТСД поділяються на чотири основних групи за такими класифікаційними ознаками. За типом доїльної установки, що використовується у БТСД ІВС ПБТСД можуть бути призначені для використання у доїльно-молочних відділеннях, які обладнані конвеєрною доїльною установкою, доїльними роботами, груповою доїльною установкою, стійловою доїльною установкою, доїльною установкою з прохідними станками.

Тип доїльної установки, що використовується, в значній мірі визначає структуру ІВС ПБТСД, особливості її роботи, наявність тих чи інших специфічних вузлів, принципову можливість вимірювання та контролю певних параметрів БТСД.

За наявністю та типом систем ідентифікації тварин ІВС ПБТСД поділяються на системи з ідентифікацією тварин та без ідентифікації тварин. Системи з ідентифікацією тварин, в свою чергу, поділяються на системи з ручною ідентифікацією, з автоматичною ідентифікацією, з автоматизованою ідентифікацією. За допомогою систем ідентифікації встановлюється індивідуальний номер тварини у стаді, після чого результати вимірювання та контролю її зоотехнічних параметрів став-

ляться у відповідність стадному номеру. Якщо у ІВС ПБТСД відсутня ідентифікація тварин, то у такій системі можливе вимірювання та контроль тільки параметрів групи тварин, склад якої залежить від способу утримання та типу доїльної установки. У ІВС ПБТСД з ручною ідентифікацією, стадний номер тварини вводиться доярем до БЗПД вручну, у процесі роботи з твариною. У ІВС ПБТСД з автоматичною ідентифікацією на тваринах певним чином закріплені транспондери, в пам'яті яких знаходиться інформація про її стадний номер. У цьому випадку тварини ідентифікуються автоматично, без участі дояра, за допомогою відповідного ЗТ. У ІВС ПБТСД з автоматизованою ідентифікацією тварин, ЗТ підноситься до транспондера тварини доярем вручну, перед початком або в процесі роботи з твариною, тобто ідентифікація здійснюється за участю дояра.

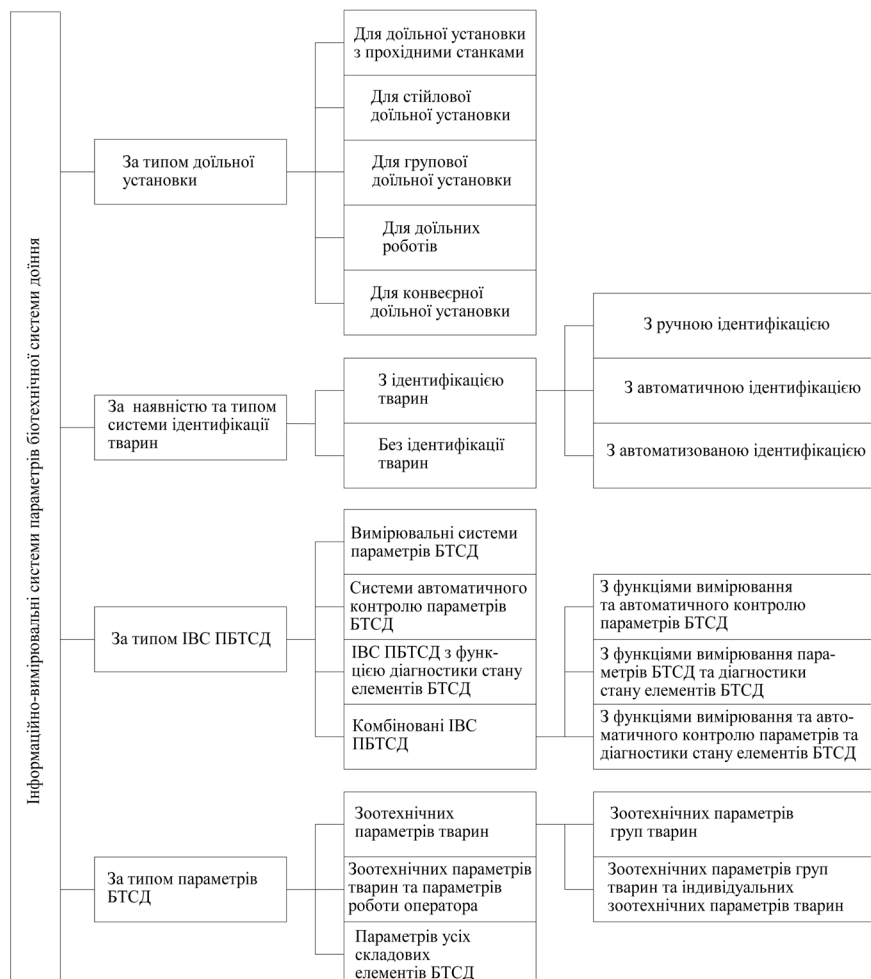


Рисунок 1.8 – Класифікація ІВС ПБТСД

За типом ІВС ПБТСД поділяються на вимірювальні системи параметрів БТСД (ВС ПБТСД), системи автоматичного контролю параметрів БТСД (САК ПБТСД), ІВС ПБТСД з діагностикою елементів БТСД (ІВС ПБТСДДЕ), комбіновані ІВС ПБТСД (КІВС ПБТСД).

За допомогою ВС ПБТСД здійснюється первинне та вторинне вимірювальне перетворення параметрів усіх або окремих складових елементів БТСД, аналого-цифрове та функціональне перетворення аналогових вимірювальних сигналів, обробка та перетворення вимірювальної інформації, створення потоків вимірювальної інформації та управління цими потоками, представлення вимірювальної інформації у необхідному вигляді.

Результатом роботи САК ПБТСД є інформація про відповідність або невідповідність параметрів БТСД нормі, яка встановлюється для кожного параметра. САК ПБТСД забезпечують контроль параметрів усіх або окремих складових елементів БТСД. Виміряні значення параметрів автоматично порівнюються з межами допуску, після чого формується бінарний сигнал про їх відповідність заданим нормам.

ІВС ПБТСДДЕ на основі результатів вимірювання або контролю відповідних параметрів здійснюють діагностику стану складових елементів БТСД. Так на основі результатів вимірювання зоотехнічних параметрів тварин, аналізу їх динаміки та взаємозв'язку, здійснюється попередня оцінка стану тварини та попередня діагностика можливих захворювань. На основі результатів вимірювання параметрів доїльних машин, у випадку необхідності, проводиться їх технічна діагностика. Певні зоотехнічні параметри тварин, параметри роботи доїльних машин та роботи операторів машинного доїння, в цілому характеризують якість роботи операторів. На основі результатів вимірювання цих параметрів виявляються технологічні операції, які операторами проводяться неякісно, з відхиленням від регламенту.

КІВС ПБТСД можуть одночасно здійснювати вимірювання параметрів складових елементів БТСД, їх автоматичний контроль, проводити діагностику цих елементів. КІВС ПБТСД поділяються на системи з функціями вимірювання та автоматичного контролю параметрів БТСД, системи з функціями вимірювання параметрів БТСД та діагностики стану елементів БТСД, системи з функціями вимірювання і автоматичного контролю параметрів та діагностики стану елементів БТСД.

За типом параметрів БТСД, ІВС ПБТСД поділяються на ІВС зоотехнічних параметрів тварин (ІВС ЗПТ), на ІВС зоотехнічних параметрів тварин та параметрів роботи оператора (ІВС ЗПТПРО), та ІВС параметрів усіх складових елементів БТСД (ІВС ПСЕБТСД).

ІВС ЗПТ забезпечують вимірювання, контроль, діагностику стану окремих тварин або груп тварин. Виміряні у цьому випадку параметри є виключно параметрами тварин або груп тварин, але їх значення може певним чином характеризувати якість роботи операторів та доїльних машин. ІВС ЗПТ, в свою чергу, поділяються на ІВС зоотехнічних параметрів груп тварин (ІВС ЗПГТ), та ІВС зоотехнічних параметрів груп тварин та індивідуальних зоотехнічних параметрів тварин (ІВС ЗПГТІПТ). ІВС ЗПТПРО окрім функцій ІВС ЗПТ забезпечують отримання інформації про параметри БТСД, які є виключно параметрами роботи оператора і характеризують якість його роботи. За допомогою ІВС ПСЕБТСД забезпечується отримання інформації про параметри усіх складових елементів БТСД: людини, тварини, доїльної машини.

1.6 Системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД

1.6.1 Класифікація систем ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД

Системи ідентифікації тварин є важливим складовим елементом ІВС ПБТСД, функціонування ІВС ПБТСД без систем ідентифікації відбувається із значним обмеженням функціональності. У доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм завданням систем ідентифікації тварин у складі ІВС ПБТСД є встановлення відповідності між номером тварини у стаді або групі, та результатами вимірювання і контролю зоотехнічних та інших параметрів БТСД, які пов'язані з твариною. Внаслідок виникнення помилок ідентифікації може бути втрачена інформація про одну або декілька тварин, в результаті чого знижується ефективність управління тваринницькою фермою. Виходячи з цього, до систем ідентифікації тварин висуваються високі вимоги стосовно надійності їх роботи.

Системи ідентифікації, які використовуються у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм у складі ІВС ПБТСД, мають свої специфічні конструктивні особливості, які визначаються способом утримання тварин, типом доїльної установки, конструктивними особливостями доїльної установки, параметрами БТСД, які вимірюються та контролюються. У теперішній час практично усі світові виробники доїльного обладнання використовують у його складі системи ідентифікації тварин. За допомогою таких систем здійснюється автоматична, автоматизована, або ручна ідентифікація тварини у стаді, що необхідно для ефективного управління технологічним процесом отримання молока та тваринницькою фермою. Параметри систем ідентифікації тварин регулюються міжнародними стандартами [89, 90]. Системи ідентифіка-

ції входять до складу доїльних комплексів, які пропонує вітчизняний виробник ТДВ «Брацлав» [2, 3], шведська компанія «DeLaval» [4, 5], німецькі компанії «GEA» [6–11] та «Impulsa AG» [12], ізраїльські компанії «Afimilk» [13, 14] та «S.C.R.» [15, 16], російська компанія «Фемакс» [17, 18], американська компанія «Boumatic» [19–21], італійська компанія «Panazoo» [22, 23], датська компанія «SAC» [24], голландська компанія «Lely» [25], інші виробники. На рис. 1.9 наведено розроблену класифікацію систем ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм [91, 92].

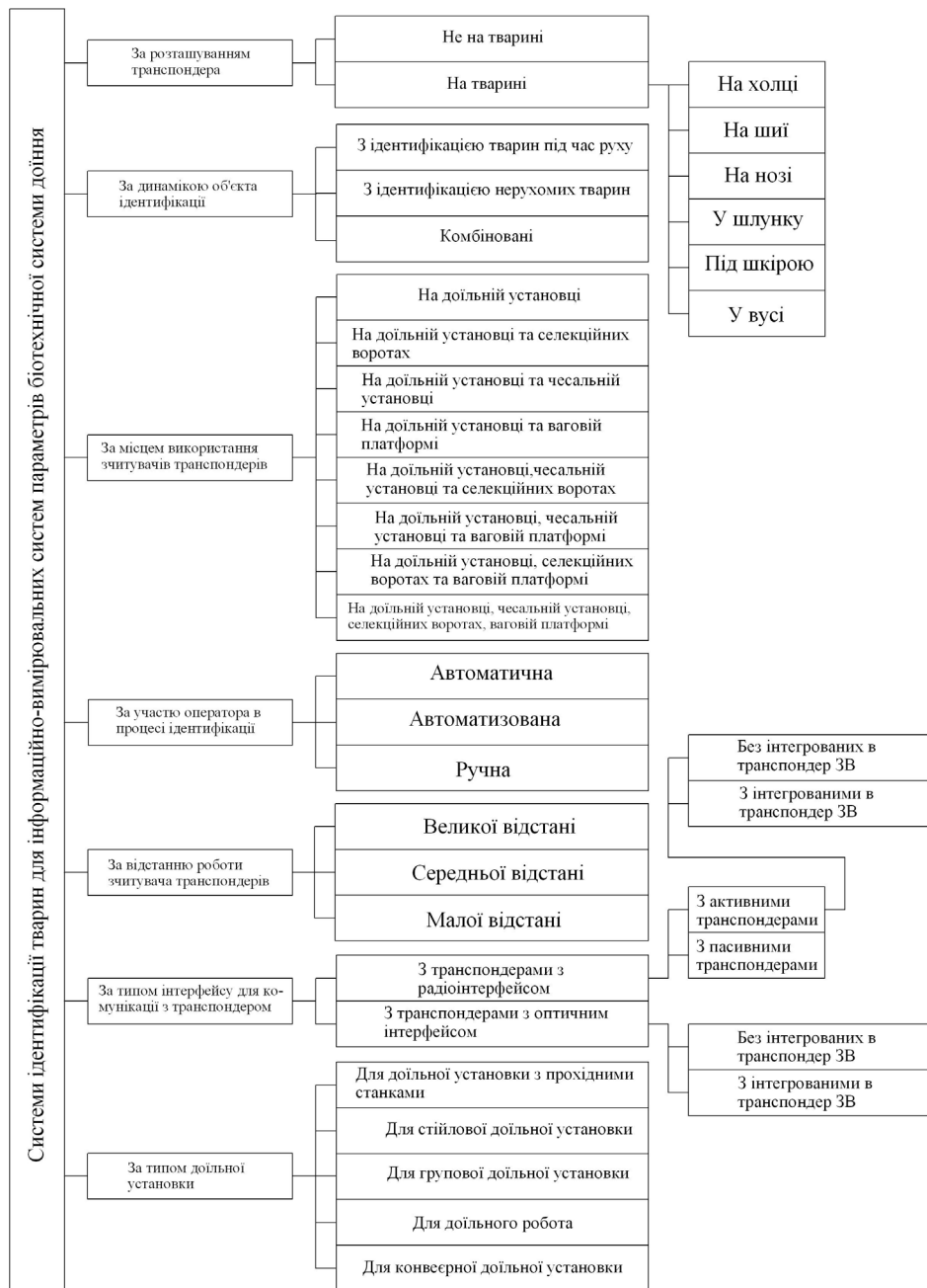


Рисунок 1.9 – Класифікація систем ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД

Як впливає з рис. 1.9, системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД за розташуванням транспондера поділяються на такі, у яких транспондер розташований на тварині, та у яких транспондер розташований не на тварині. В переважній більшості випадків транспондер розташовується на тварині – на її шиї, холці, вусі, нозі, шлунку, або під шкірою. У роботі [93] запропоновано варіант системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД при використанні стійлової доїльної установки, яка використовується при прив'язному утриманні, у якому транспондери знаходяться на місцях встановлення БЗПД.

За динамікою об'єкта ідентифікації системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД поділяються на системи з ідентифікацією тварин під час руху, на системи з ідентифікацією нерухомих тварин, та на комбіновані системи. При використанні селекційних воріт тварини ідентифікуються виключно під час руху. На стійлових доїльних установках, доїльних установках з прохідними станками, при використанні доїльних роботів та на чесальних установках здійснюється ідентифікація виключно нерухомих тварин. На групових доїльних установках, конвеєрних доїльних установках та на вагових платформах може здійснюватись ідентифікація рухомих та нерухомих тварин. Якщо на доїльній установці, на ваговій платформі та чесальній установці здійснюється ідентифікація нерухомих тварин, а селекційні ворота у доїльно-молочному відділенні тваринницької ферми не використовуються, то така система ідентифікації для ІВС ПБТСД відноситься до систем з ідентифікацією нерухомих тварин. У випадку, якщо наприклад на доїльній установці та автоматичній ваговій платформі здійснюється ідентифікація тварин під час руху, на чесальній установці ідентифікація не здійснюється, незалежно від наявності селекційних воріт така система ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД відноситься до систем з ідентифікацією тварин під час руху. Якщо у доїльно-молочному відділенні ферми здійснюється ідентифікація тварин як під час руху, так і в нерухомому положенні, то така система ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД відноситься до комбінованих систем ідентифікації.

За місцем використання ЗТ у системах ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД, ці системи поділяються на такі, у яких здійснюється ідентифікація на доїльній установці, на селекційних воротах та доїльній установці, на чесальній установці та доїльній установці, на доїльній установці та ваговій платформі, на доїльній установці та чесальній установці і селекційних воротах, на доїльній установці та ваговій платформі і чесальній установці, на доїльній установці та селекційних во-

ротах і ваговій платформі, на доїльній установці та селекційних воротах і чесальній установці та ваговій платформі.

За участю оператора в процесі ідентифікації, системи ідентифікації для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм поділяються на автоматичні, автоматизовані, ручні. При ручній ідентифікації номер тварини вводиться доярем до БЗПД вручну перед початком доїння або протягом доїння. При реалізації автоматизованої ідентифікації кожний БЗПД обладнаний ЗТ, перед початком підготовки тварини до доїння дояр вручну наближає його до транспондера, який розташований на тварині [2]. При використанні автоматичних систем ідентифікації тварин, їх ідентифікація відбувається без участі оператора. У цьому випадку можлива ручна корекція номера тварини, якщо оператором виявлена помилка ідентифікації.

За відстанню роботи ЗТ системи ідентифікації для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм поділяються на малої відстані, середньої відстані, великої відстані. ЗТ малої відстані використовуються при автоматизованій ідентифікації у доїльних станках та у системі ідентифікації для стійлової доїльної установки з розташуванням транспондерів в місцях встановлення БЗПД. ЗТ середньої відстані використовуються при автоматичній ідентифікації нерухомих тварин, ЗТ великої відстані – при автоматичній ідентифікації нерухомих тварин та під час руху тварин.

За типом інтерфейсу для комунікації з транспондером системи ідентифікації для ІВС ПБТСД поділяються на системи з транспондерами з оптичним інтерфейсом та системи з транспондерами з радіоінтерфейсом. Існують системи ідентифікації, у яких обмін даними між ЗТ та транспондером здійснюється за допомогою оптичного інтерфейсу (як правило з використанням інфрачервоного випромінювання). Конструкція кріплення цих транспондерів така, що приймально-передавальний елемент завжди знаходиться зверху тварини на її холці, а ЗТ знаходиться у доїльному станку над твариною. При входженні тварини до доїльного станка транспондер активізується за сигналом від ЗТ, після чого здійснюється обмін даними [83]. Усі типи транспондерів з оптичним інтерфейсом активні, тобто потребують джерела живлення. Внаслідок цього, виникає необхідність періодичної заміни елементів живлення транспондерів. Ця обставина ускладнює експлуатацію доїльної установки та системи автоматичного управління доїльно-молочним відділенням ферми. Тому такі системи ідентифікації не отримали широкого розповсюдження. Найбільш розповсюдженими у теперішній час є системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД з використанням транспондерів з радіоінтерфейсом, так звані RFID - сис-

теми, або системи радіочастотної ідентифікації [90]. У таких системах обмін даними між ЗТ та транспондером здійснюється за допомогою радіозв'язку. У тваринництві використовуються як активні, так і пасивні транспондери для систем радіочастотної ідентифікації. Особливістю активних транспондерів є наявність у їх складі автономного джерела живлення. Завдяки йому досягається відносно велика відстань розпізнавання і можливість надання транспондеру додаткових функцій, наприклад, вимірювання активності та румінації. Головними недоліками активних транспондерів є необхідність періодичної заміни елементів живлення і відносно велика вартість. Найбільш розповсюдженими в теперішній час є засоби радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами [94, 95]. Конструктивно, пасивні транспондери для тварин це монолітні герметичні вироби, які закріплюються на вусі, шиї, нозі або під шкірою тварини. Пасивний транспондер складається з котушки індуктивності, яка виконує функцію індуктивної антени, трансивера, мікропроцесора, інших пасивних та активних елементів [96, 97]. Під час передачі ЗТ електромагнітного пакету певної частоти і тривалості, якщо транспондер знаходиться у робочій зоні ЗТ, коливальна система транспондера накопичує енергію, якої достатньо для приведення у дію мікропроцесора і трансивера. Мікропроцесор генерує у відповідь на запит ЗТ власний пакет даних з унікальним цифровим кодом транспондера. Вищевказаний пакет даних передається у ефір радіопередавачем трансивера транспондера за допомогою індуктивної антени. ЗТ, з використанням синхронного детектування, дешифрує код транспондера, після чого цей код передається до сервера інформаційно-вимірювальної системи. Сервер, в свою чергу, на основі отриманого коду транспондера, визначає номер тварини у стаді, та повертає його до БЗПД для візуалізації [98, 99].

Системи ідентифікації тварин з транспондерами з оптичним інтерфейсом та системи радіочастотної ідентифікації з активними транспондерами поділяються на системи з транспондерами з інтегрованими ЗВ та без інтегрованих ЗВ. Системи з транспондерами без інтегрованих ЗВ призначені виключно для визначення стадного номера тварини. У системах з транспондерами з інтегрованими ЗВ здійснюється вимірювання активності тварини та румінації (жувальної активності).

За типом доїльної установки системи ідентифікації можуть бути призначені для використання на конвеєрній доїльній установці, у складі доїльного робота, на груповій доїльній установці, на стійловій доїльній установці, на доїльній установці з прохідними станками. Від типу доїльної установки залежить структура системи та особливості її роботи.

1.6.2 Системи ідентифікації тварин під час руху для ІВС ПБТСД

Ідентифікація тварин під час руху відбувається виключно в автоматичному режимі з використанням ЗТ середньої та великої відстані. Такий спосіб ідентифікації може бути використаний на вході на конвеєрну або групову доїльну установку, на селекційних воротах та автоматичній ваговій платформі. ЗТ середньої відстані можуть використовуватись тільки якщо транспондери закріплені на нозі, холці, шії або у вусі тварини. При чому, у цьому випадку, транспондери повинні бути закріплені з тієї сторони тварини, з якої знаходиться ЗТ. Застосування систем ідентифікації тварин під час руху дозволяє мінімізувати кількість ЗТ, що значно зменшує собівартість ІВС ПБТСД.

На рис. 1.10 наведено варіант структурної схеми системи ідентифікації тварин під час руху для групових доїльних установок [100].

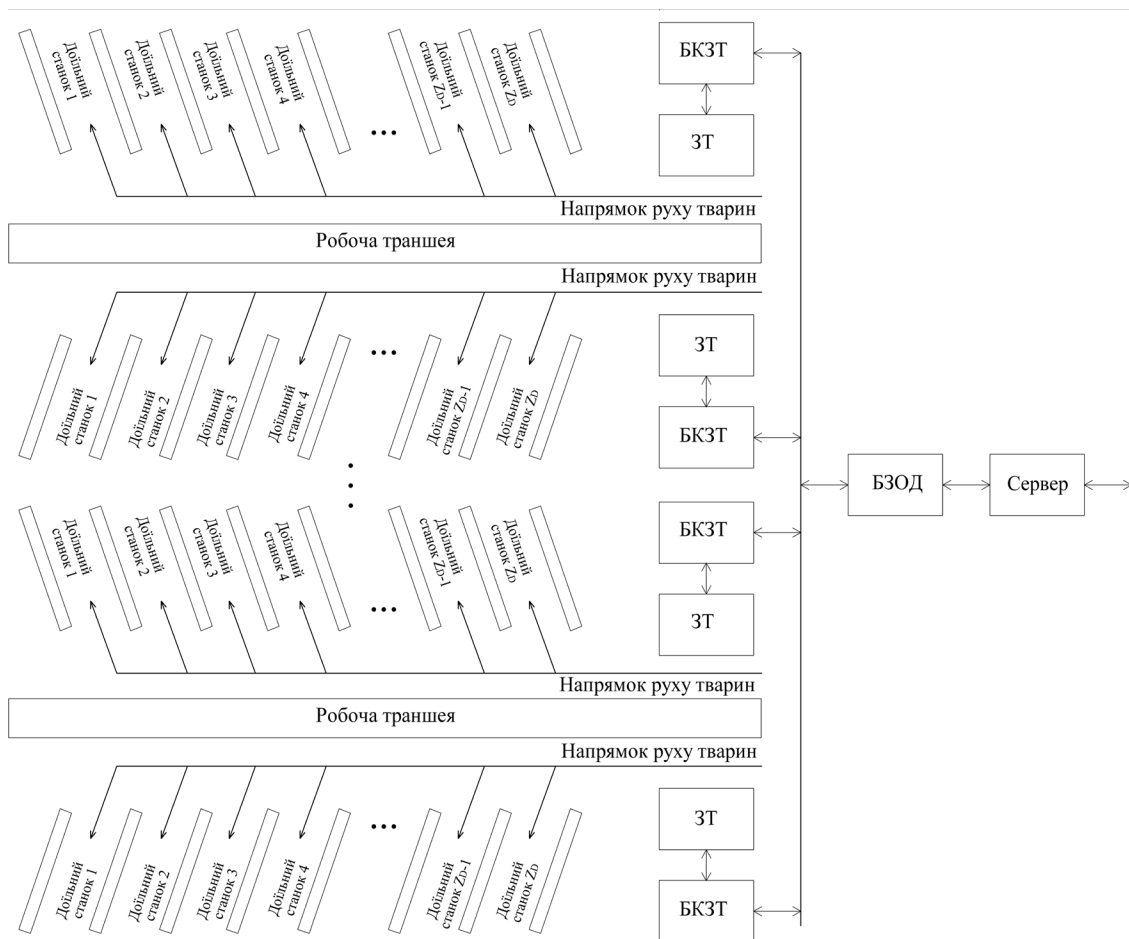


Рисунок 1.10 – Структурна схема системи ідентифікації тварин під час руху для групових доїльних установок

До групових доїльних установок відносяться установки типу «Паралель» та «Ялинка», різниця між ними полягає у різному способі розташування тварин у доїльних станках. Групова доїльна установка складається з певної кількості робочих траншей. Обидві сторони кожної траншеї обладнані стаціонарними доїльними станками. У кожній траншеї знаходяться два дояри, кожен дояр обслуговує одну сторону робочої траншеї. Вхід та вихід тварин на сторону траншеї здійснюється групами, кількість тварин у групі відповідає кількості доїльних станків Z_D на одній стороні. Під час входу тварин на сторону траншеї, вони на шляху до доїльних станків проходять через робочу зону ЗТ.

Конструктивно, прохід для тварин виконаний так, що тварина яка увійшла першою, буде знаходитись в першому доїльному станку, друга – в другому, і т. д. При проходженні тварин через робочу зону ЗТ коди транспондерів дешифруються за допомогою БКЗТ та передаються до БЗОД. БЗОД, в свою чергу, передає їх до сервера системи, де визначаються номери тварин у стаді, які відповідають кодам транспондерів, та порядок їх розташування у доїльних станках.

При певних умовах, на групових доїльних установках, при використанні систем ідентифікації тварин під час руху, можливе виникнення помилок ідентифікації, які зумовлені такими причинами [88, 101]. Ідентифікація може не відбутися, або відбутися з помилкою, внаслідок біологічних особливостей руху тварин (наприклад, коли тварина увійшла на прохід до доїльних станків, ідентифікувалася, а потім знову вийшла з проходу), порушення регулярності черги, відсутності або втрати транспондера на окремих тваринах. Окрім того, транспондер може бути механічно пошкоджений, не потрапити в робочу зону ЗТ, при використанні радіочастотної ідентифікації знаходитись в положенні, коли площини індуктивних антен ЗТ та транспондера взаємно перпендикулярні. Наслідком виникнення помилки ідентифікації, може бути втрата ідентифікаційної інформації про всіх тварин групи [101]. До цього часу, ця проблема або взагалі не вирішена, або вирішується шляхом ручного корегування результатів ідентифікації тварин обслуговуючим персоналом ферми під час підготовки тварини до доїння. Внаслідок цього втрачаються дані про результати вимірювання та контролю параметрів БТСД та ускладнюється робота персоналу ферми, збільшується час роботи доїльної установки.

Для підвищення достовірності ідентифікації тварин у ІВС ПБТСД та мінімізації впливу помилок ідентифікації на ефективність роботи доїльно-молочного відділення ферми, пропонується варіант реалізації системи ідентифікації тварин під час руху з ідентифікацією проходження тварини, структурну схему якого наведено на рис. 1.11 [88].

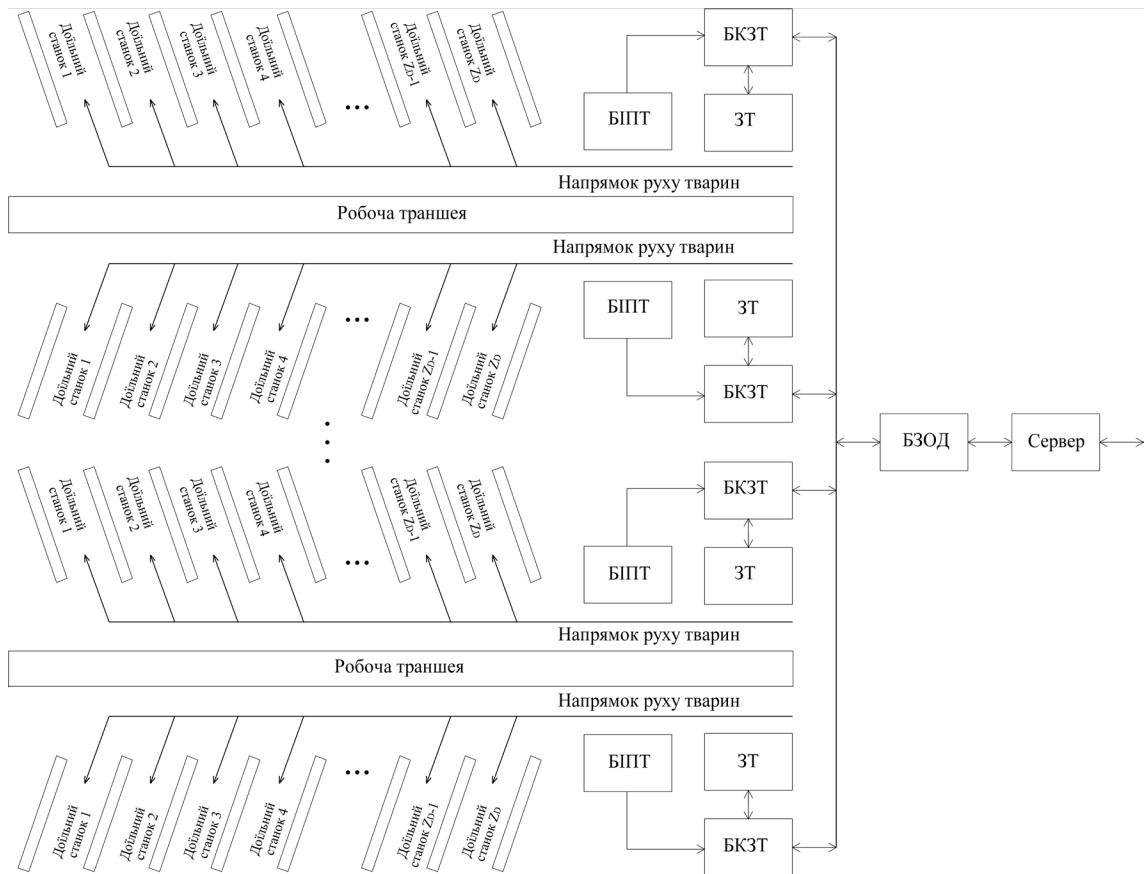


Рисунок 1.11 – Структурна схема системи ідентифікації тварин під час руху для групових доїльних установок з ідентифікацією проходження тварини

До складу наведеної структурної схеми системи ідентифікації входить БПТ, який реалізується на основі ультразвукових або оптичних давачів наявності об'єкта. Принцип його дії заснований на здійсненні вимірювального контролю часу знаходження тварини в робочій зоні давача. На шляху до доїльного станка тварина спочатку проходить через робочу зону ЗТ, а потім через робочу зону БПТ. Таким чином, при входженні кожної тварини групи на доїльну сторону, до БКЗТ надходить код транспондера від ЗТ, і через певний проміжок часу – сигнал від БПТ. Наявність одного з цих сигналів є ознакою проходження тварини до доїльного станка. Виходячи з цього, кожному транспондеру відповідає сигнал БПТ, порядковий номер якого для поточної групи відповідає номеру доїльного станка, у якому знаходиться відповідна тварина.

Якщо помилка ідентифікації виникла, сигнал від БПТ все одно надходить до БКЗТ. Таким чином, ознакою того, що одна з тварин не ідентифікована, є два послідовних сигнали від БПТ, що надійшли до БКЗТ. Порядковий номер другого сигналу БПТ є номером доїльного

станка, у якому знаходиться не ідентифікована тварина. Виходячи з цього, при виникненні помилок ідентифікації однієї або декількох тварин групи, буде втрачена інформація, яка стосується тільки цих тварин. Інформація, яка стосується ідентифікованих тварин групи, не буде втрачена. На ефективність роботи цієї системи в значній мірі впливає якість функціонування БПТ. Після заповнення усіх доїльних станків, БКЗТ за допомогою БЗОД передає до сервера системи коди транспондерів і відповідні їм номери доїльних станків. Сервером визначаються відповідні стадні номери тварин, після чого вони за допомогою БЗОД передаються до відповідних БЗПД. Дояр має можливість у разі необхідності здійснити корекцію стадних номерів.

На рис. 1.12 наведено структурну схему системи ідентифікації тварин під час руху для групових доїльних установок з контролем присутності тварини у доїльному станку.

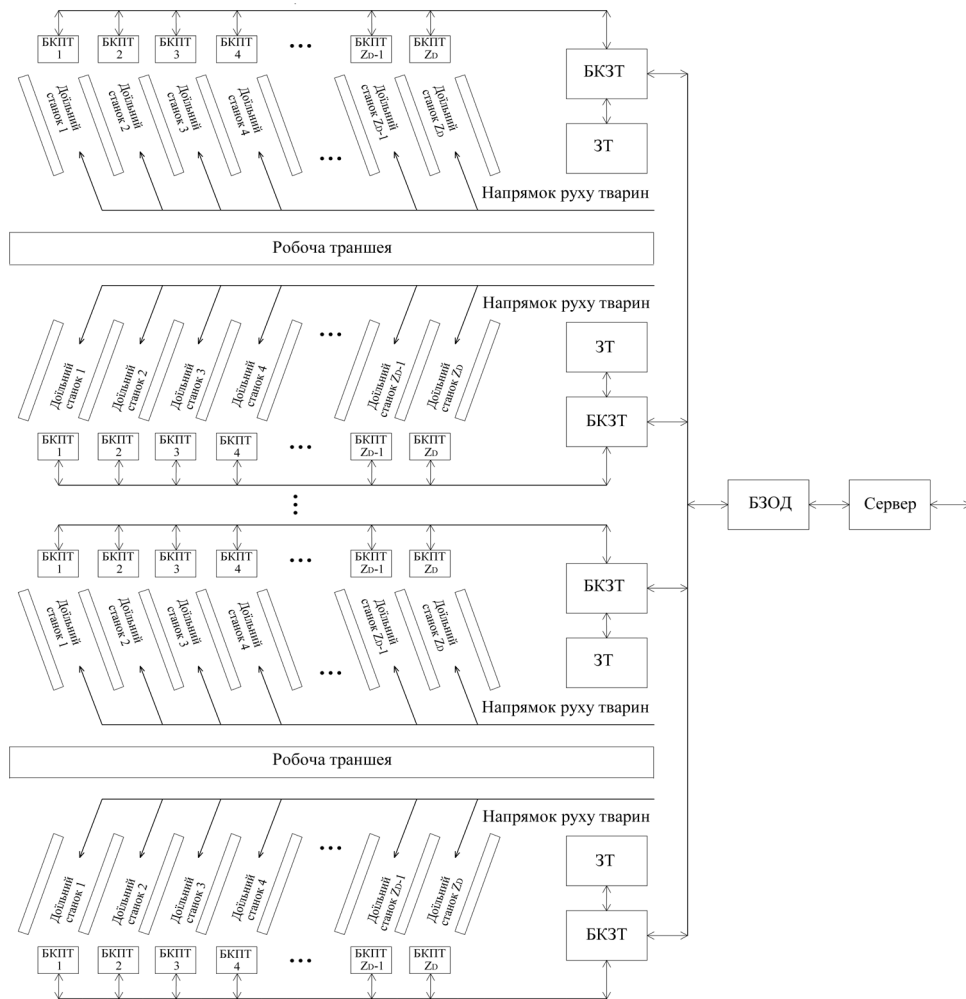


Рисунок 1.12 – Структурна схема системи ідентифікації тварин під час руху для групових доїльних установок з контролем присутності тварини у доїльному станку

У цій системі кожний доїльний станок обладнаний блоком контролю присутності тварини (БКПТ). Для його реалізації використовуються ультразвукові або оптичні датчики наявності об'єкта. При входженні кожної тварини групи на доїльну сторону, до БКЗТ спочатку надходить код транспондера від ЗТ і через певний проміжок часу – сигнал від БКПТ, у якому знаходиться інформація про номер доїльного станка. Якщо виникла помилка ідентифікації, сигнал від БКПТ все одно надходить до БКЗТ. Таким чином, ознакою того, що одна з тварин не ідентифікована, є два послідовних сигнали від БКПТ, що надійшли до БКЗТ. Навіть якщо не ідентифікована тварина швидше зайшла до доїльного станка, ніж ідентифікована попередня, алгоритмічно визначається номер станка, в якому знаходиться не ідентифікована тварина. У цій системі також при виникненні помилок ідентифікації однієї або декількох тварин групи, буде втрачена інформація, яка стосується тільки цих тварин. Інформація, яка стосується ідентифікованих тварин групи, не буде втрачена [88]. Після того, як уся група зайшла на сторону установки, БКЗТ за допомогою БЗОД передає до сервера системи коди транспондерів і відповідні їм номери доїльних станків. Сервером визначаються стадні номери тварин, які відповідають кодам транспондерів, після чого вони за посередництва БЗОД передаються до БЗПД і виводяться на їх індикатори. Дояр за необхідності може скорегувати стадні номери тварин, які надійшли від сервера. Після закінчення доїння інформація про параметри БТСД за допомогою БЗОД передається до сервера.

На рис. 1.13 наведено структурну схему системи ідентифікації тварин під час руху для конвеєрних доїльних установок, до яких відносяться установки «Карусель» та «Юнілактор». Особливістю конвеєрних доїльних установок є те, що тварини рухаються разом з доїльними станками під час доїння, а дояр залишається на одному місці. Доїльна платформа, на якій розташовані стаціо-

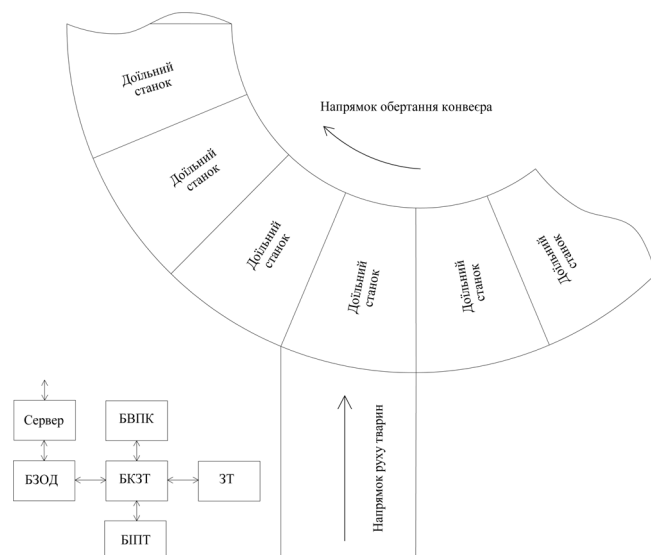


Рисунок 1.13 – Структурна схема системи ідентифікації тварин під час руху для конвеєрних доїльних установок

нарні доїльні станки, обертається з певною кутовою швидкістю. Тварини по черзі заходять на платформу і розміщуються у доїльних станках, дояр здійснює процес підготовки тварини до доїння, після чого вдягає доїльний апарат і починає процес доїння. Вихід тварин з платформи здійснюється тоді, коли платформа здійснить майже повний оберт. Цей процес продовжується циклічно до тих пір, поки не закінчиться видоювання усіх тварин у стаді. Різниця між установкою «Карусель» та «Юнілактор» полягає у принципово різних конструкціях доїльних платформ. Під час входження тварин на платформу, вони на шляху до доїльного станка проходять через робочу зону ЗТ, в результаті чого відбувається зчитування коду транспондера. До складу системи ідентифікації входить блок визначення положення конвеєра (БВПК), за допомогою якого визначається поточне положення конвеєра з метою визначення номера доїльного станка, у який зайшла тварина. Визначений номер доїльного станка разом з кодом транспондера передається до БКЗТ, який, в свою чергу, передає його до БЗОД. БЗОД передає отриману інформацію до сервера системи. За допомогою БІПТ здійснюється виявлення тварини у випадку виникнення збою ЗТ, втрати транспондера, або порушення черги тварин внаслідок біологічних особливостей їх руху. За сигналом від БІПТ БКЗТ за допомогою БЗОД передає до сервера системи інформацію про номер доїльного станка, у якому знаходиться не ідентифікована тварина [6, 31, 83].

На рис. 1.14 наведено структурну схему системи ідентифікації тварин під час руху для селекційних воріт. Коли тварина входить в прохід селекційних воріт, транспондер попадає в робочу зону ЗТ, в результаті чого зчитується його код і передається до БКЗТ,

який, в свою чергу, передає його до БКСВ. БКСВ за допомогою БЗОД передає отриману інформацію до сервера системи. Сервер на основі отриманого коду транспондера встановлює номер тварини в стаді і не-

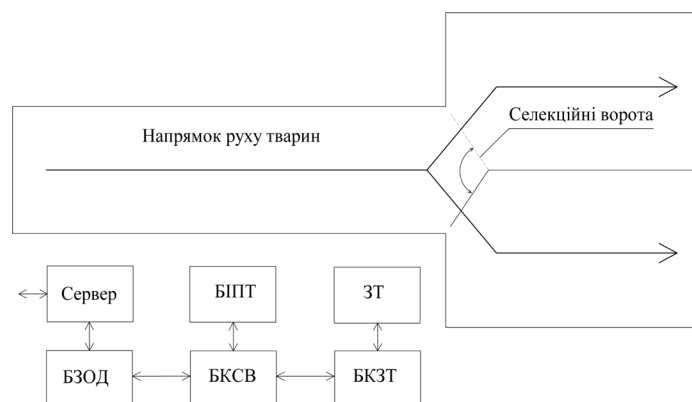


Рисунок 1.14 – Структурна схема системи ідентифікації тварин під час руху для селекційних воріт

обхідний напрямок її руху. Ця інформація сервером передається до БЗОД, який передає її до БКСВ. На основі отриманої інформації БКСВ здійснює управління приводом селекційних воріт для направлення тварини в потрібному напрямку. За допомогою БПТ здійснюється виявлення тварини у випадку виникнення збою ЗТ, втрати транспондера, або порушення їх черги. У цьому випадку за сигналом від БПТ БКСВ встановлює селекційні ворота у таке положення, щоб не ідентифікована тварина була відокремлена [83].

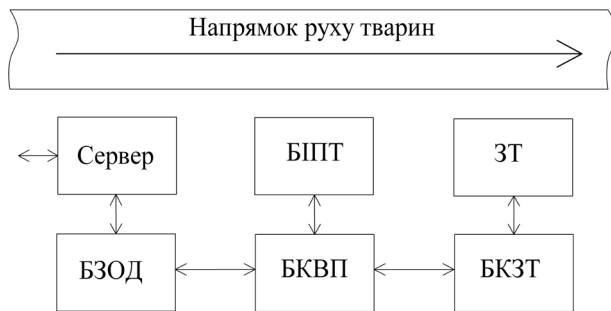


Рисунок 1.15 – Структурна схема системи ідентифікації тварин для автоматичної вагової платформи під час руху

На рис. 1.15 наведено структурну схему системи ідентифікації тварин для автоматичної вагової платформи під час руху. Система автоматичного зважування тварин складається з однієї або декількох вагових платформ, які встановлюються на шляху тварин до доїльного залу, або на виході з нього. Коли тварина

входить в прохід до вагової платформи, транспондер попадає в робочу зону ЗТ великої або середньої відстані, в результаті чого зчитується його код, який за допомогою БКЗТ передається до БКВП. На ваговій платформі тварина автоматично зважується, після чого результат вимірювання ваги та код транспондера, за посередництва БЗОД, БКВП передає до сервера системи. Ця інформація зберігається в базі даних зоотехнічних параметрів тварин та використовується для управління молочною фермою. За допомогою БПТ здійснюється виявлення тварини у випадку виникнення збою ЗТ, втрати транспондера, або порушення черги тварин. При використанні БПТ знижується імовірність того, що результати вимірювання ваги однієї тварини будуть віднесені до іншої. Ця подія може виникнути в потоках тварин внаслідок біологічних особливостей їх руху [83].

1.6.3 Системи ідентифікації нерухомих тварин для ІВС ПБТСД

На доїльних установках з прохідними станками, на стійлових доїльних установках, у складі доїльних роботів, використовуються виключно системи ідентифікації тварин у доїльних станках (або стійлових місцях), тобто у цьому випадку здійснюється ідентифікація нерухомих тварин. Також такі системи можуть бути застосовані на

конвеєрних і групових доїльних установках, на вагових платформах та чесальних установках. Якщо виникає помилка ідентифікації, то у цьому випадку втрачається інформація тільки про неідентифіковану тварину, на інформацію, яка стосується інших тварин, ця подія ніяк не впливає. Імовірність виникнення помилки ідентифікації нерухомих тварин значно менша, ніж коли тварина ідентифікується під час руху [94]. Використання систем ідентифікації тварин у доїльних станках обмежується економічними факторами, тому що собівартість таких систем, внаслідок наявності великої кількості ЗТ, як правило, значно більша, ніж систем ідентифікації тварин під час руху.

На рис. 1.16 наведено варіант структурної схеми автоматичної системи ідентифікації нерухомих тварин у доїльних станках на основі ЗТ середньої або великої відстані. У цьому варіанті системи ідентифікації кожний доїльний станок обладнаний ЗТ великої або середньої відстані. Після входження твари-

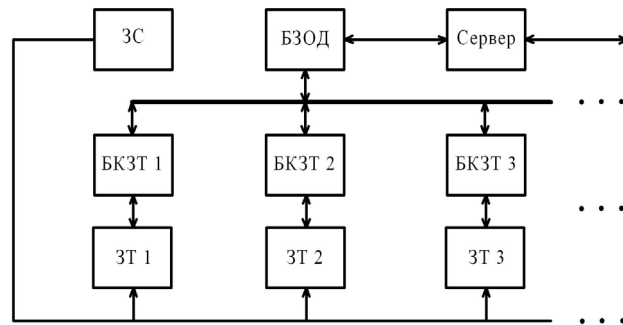


Рисунок 1.16 – Структурна схема автоматичної системи ідентифікації нерухомих тварин у доїльних станках на основі ЗТ середньої або великої відстані.

ни у станок здійснюється її автоматична ідентифікація, після чого починається процес доїння. Код транспондера дешифрується за допомогою відповідного БКЗТ (може входити до складу БЗПД), який в свою чергу передає його до БЗОД. БЗОД передає отриманий код до сервера системи, який визначає стадний номер тварини та передає його до відповідних БЗПД. Отриманий стадний номер візуалізується на індикаторі БЗПД, дояр може перевірити його відповідність реальному номеру тварини та у випадку виникнення помилки ідентифікації вручну скорегувати. Якщо автоматична ідентифікація тварини неможлива внаслідок втрати або виходу з ладу транспондера, дояр має можливість ввести стадний номер тварини вручну. Якщо ідентифікація тварини не відбулася, то результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів будуть віднесені до умовної тварини. Але це не вплине на результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів інших тварин, незалежно від того, яка доїльна установка викорис-

товується [88]. У ЗТ великої та середньої відстані потужність радіовипромінювання, у випадку використання радіочастотної ідентифікації, може досягати десятків Вт, а відстань зчитування транспондерів до 1 м [94, 95, 97]. У наведеній системі вони розташовані на невеликій відстані один від одного і не можуть працювати одночасно внаслідок взаємного впливу [98, 102]. Для усунення взаємного впливу ЗТ у системі використовується засіб синхронізації (ЗС), який в будь-який момент часу забезпечує роботу тільки одного ЗТ, тобто за його допомогою забезпечується послідовна періодична активація усіх ЗТ системи. Якщо використовуються транспондери та ЗТ з оптичним інтерфейсом, ЗС не потрібний.

Структурна схема іншого варіанта автоматичної системи ідентифікації нерухомих тварин у доїльних станках, при використанні радіочастотної ідентифікації на основі ЗТ великої або середньої відстані та локальних антен, наведена на рис. 1.17. У цьому варіанті системи кожний доїльний станок обладнаний локальною антеною (А). Кожна антена з'єднана з узгоджувальними пристроями (УП), які в свою чергу, за допомогою коаксіальних кабелів з'єднані з комутаційним пристроєм (КП).

УП необхідні для узгодження параметрів вихідних та вхідних кіл ЗТ з параметрами антенного тракту, які значно залежать від довжини коаксіальних кабелів. КП у відповідності з командами, які надходять від БКЗТ, здійснює послідо-

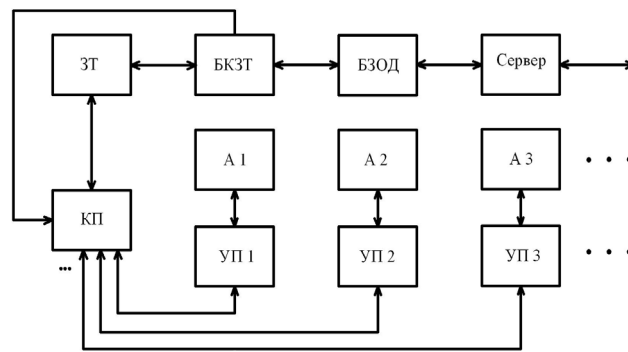


Рисунок 1.17 – Структурна схема автоматичної системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин при використанні ЗТ великої або середньої відстані та локальних антен

вне під'єднання виходів УП до вихідних та вхідних кіл ЗТ для зчитування кодів транспондерів тварин в усіх доїльних станках. З виходу КП високочастотний сигнал надходить на вхід ЗТ, який зчитує код транспондера та передає його до БКЗТ. БКЗТ за посередництва БЗОД передає отриманий код разом з номером доїльного станка до сервера системи, який визначає стадний номер тварини та повертає його до відповідного БЗПД. Інакше, робота наведеної системи аналогічна тій, що була розглянута вище [88].

На рис. 1.18 наведено структурну схему автоматизованої системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин на основі ЗТ малої відстані. У такій системі кожний доїльний станок обладнаний відповідним ЗТ, який має відстань зчитування не більшу десяти-п'ятнадцяти сан-

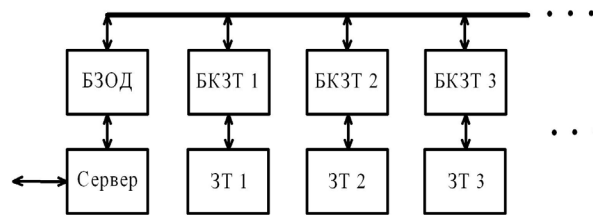


Рисунок 1.18 – Структурна схема автоматизованої системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин на основі ЗТ малої відстані

тиметрів та потужність радіовипромінювання не більшу одиниць Вт [88, 94, 95]. Невелика потужність зумовлює можливість їх одночасної роботи внаслідок відсутності взаємного впливу. Ідентифікація тварин у цьому випадку здійснюється автоматизовано, дояр перед початком підготовки тварини до доїння підносить ЗТ до транспондера, який розташований на задній нозі тварини. Код транспондера за допомогою БКЗТ, який у цьому випадку, як правило, інтегрований до БЗПД, разом з номером доїльного станка передається до сервера системи за посередництва БЗОД. Сервер визначає стадний номер тварини та повертає його до відповідного БЗПД. Отриманий від сервера стадний номер відображується на індикаторі БЗПД, дояр може перевірити його відповідність реальному номеру та у випадку виявлення помилки ідентифікації вручну скорегувати. При неможливості ідентифікації дояр вводить стадний номер тварини вручну, за допомогою клавіатури БЗПД, якщо ідентифікація взагалі неможлива, то результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів будуть віднесені до умовної тварини. При використанні такої системи збільшується трудомісткість роботи дояра та ускладнюється його робота. Окрім того, при великій кількості тварин у стаді, значно збільшується час роботи доїльної установки [88].

У доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм з прив'язним утриманням використовуються стійлові доїльні установки, на яких застосовуються системи ідентифікації нерухомих тварин на стійлових місцях. На таких доїльних установках тварини розділені на групи, кожна група знаходиться у окремій стійловій лінії, яка складається з певної кількості стійлових місць (не більше п'ятдесяти). Для доїння групи тварин в одній стійловій лінії може бути використано від двох до чотирьох доїльних апаратів з БЗПД, кількість стійлових ліній на установці може бути чотири або вісім, кожен ліній обслуговує один дояр. На стійлових доїльних установках можливе використання авто-

мативованої системи ідентифікація тварин, структурна схема якої наведена на рис. 1.18, та ручної системи ідентифікації, при використанні якої номер тварини вводиться доярем вручну за допомогою клавіатури БЗПД. Існує варіант реалізації системи ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки, у якому номери тварин у стаді та відповідні номери їх стійлових місць знаходяться у спеціалізованій базі даних, яка знаходиться на сервері системи. У цьому випадку стадний номер тварини візуалізується на індикаторі БЗПД після його встановлення на робочому місці, дояр повинен перевірити вірність номера та підтвердити або скорегувати його [31]. У роботах [93, 103, 104] запропоновано автоматичну систему радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для стійлової доїльної установки. На рис. 1.19 наведено її структурну схему, а на рис. 1.20 наведено конструкцію та розташування елементів цієї системи при різній кількості доїльних апаратів.

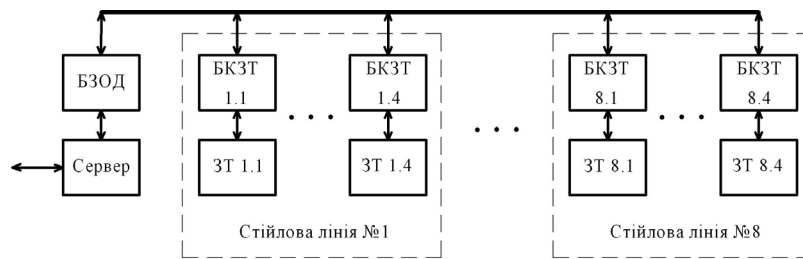


Рисунок 1.19 – Структурна схема автоматичної системи радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки.

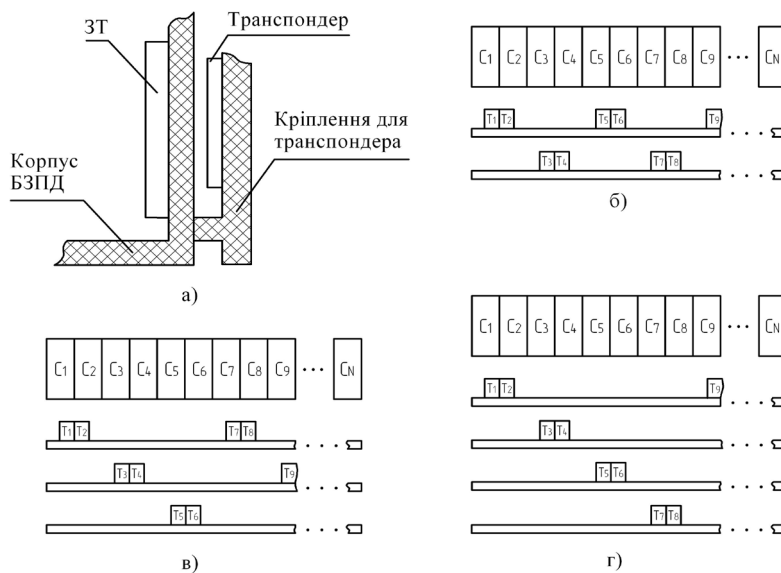


Рисунок 1.20 – Конструкція та розташування елементів автоматичної системи радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки при різній кількості доїльних апаратів: а – розташування ЗТ та транспондера; б – два доїльних апарати; в – три доїльних апарати; г – чотири доїльних апарати

Стійлові місця доїльної установки на рис. 1.20 позначені $C_1, C_2 \dots C_N$, транспондери, які відповідають тваринам у стійлових місцях, відповідно позначені $T_1, T_2 \dots T_N$. Кожний БЗПД у цій системі обладнаний інтегрованим ЗТ малої відстані та інтегрованим БКЗТ. Корпус БЗПД виготовляється з пластмаси для забезпечення радіопрозорості. Транспондер закріплюється не на тварині, а на місцях встановлення БЗПД, навпроти тварин. Взаємне розташування транспондера та інтегрованого в БЗПД ЗТ таке, що забезпечується паралельна орієнтація їх індуктивних антен та мінімальна відстань між ними. Внаслідок цього здійснюється автоматичне зчитування коду транспондера з максимальною достовірністю. Кожній послідовно розташованій в стійловій лінії тварині відповідає одне місце для встановлення БЗПД, кожній послідовно розташованій парі тварин відповідає один вакуумний кран для під'єднання доїльного апарата, який суміщений з роз'ємом для під'єднання БЗПД до комунікаційної мережі та мережі живлення. Доїльні апарати з відповідними БЗПД дояр може вільно переміщувати вздовж стійлової лінії за допомогою спеціальних напрямних, кожному БЗПД відповідає своя напрямна. Перед підготовкою тварини до доїння дояр встановлює БЗПД на відповідне цій тварині місце та під'єднує його до мережі живлення та комунікаційної мережі, після чого активується вбудований в БЗПД ЗТ. Транспондер у цей момент часу вже знаходиться в робочій зоні ЗТ. В результаті, код транспондера зчитується та передається до сервера системи, на сервері встановлюється номер тварини у стійлі, який відповідає отриманому коду транспондера, після чого цей номер передається у зворотному напрямку і візуалізується за допомогою індикатора БЗПД. Дояр повинен перевірити номер, та у випадку необхідності здійснити його корекцію за допомогою клавіатури. Якщо з певних причин ідентифікація тварини не відбулась (наприклад вийшов з ладу зчитувач або транспондер), доїння тварини буде програмно заблоковано. Для того, щоб у цьому випадку провести доїння, дояр повинен за допомогою клавіатури ввести номер тварини. При зміні стійлового місця тварини, виведенні тварини в сухостій або переведенні її в іншу групу, доярем змінюється місце закріплення відповідного цій тварині транспондера. Для забезпечення максимальної продуктивності стійлової доїльної установки дояр повинен дотримуватись встановленого регламентом алгоритму роботи, тобто доїння тварин повинно відбуватись у певній послідовності у відповідності з номерами стійлових місць. На практиці, персонал доїльно-молочних відділень ферм дуже часто не дотримується регламенту, внаслідок чого знижується продуктивність установки та ефективність роботи фер-

ми. За допомогою розглянутої системи автоматичної ідентифікації можливе алгоритмічне забезпечення примусового виконання доярем регламентної послідовності дій при роботі на стійловій доільній установці.

На рис. 1.21 наведено структурну схему системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для чесальної установки [105–107]. До складу такої системи входять два ЗТ середньої або великої відстані. При використанні ЗТ великої відстані допускається будь-який варіант закріплення транспондера на тварині, при використанні ЗТ серед-

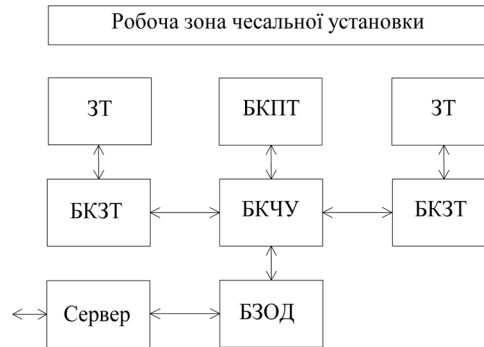


Рисунок 1.21 – Структурна схема системи радіочастотної ідентифікації нерухомих тварин для чесальної установки

ньої відстані транспондер може бути закріплений тільки на вусі або нозі тварини. Наявність двох ЗТ необхідна для того, щоб транспондер попадав в робочу зону ЗТ незалежно від положення тварини та напрямку і шляху її входження в робочу зону чесальної установки. Наявність тварини у робочій зоні чесальної установки визначається за допомогою БКПТ. За надходженням сигналу від БКПТ, БКЧУ формує команду увімкнення електродвигуна, який забезпечує обертальний рух щітки протягом усього часу присутності тварини в робочій зоні чесальної установки. При попаданні транспондера в робочу зону одного з ЗТ його код зчитується і передається до БКЗТ, який в свою чергу передає його до БКЧУ. Зчитування коду транспондера може бути здійснено в будь-який момент часового проміжку знаходження тварини в робочій зоні чесальної установки. Після виходу тварини з установки, БКЧУ передає код транспондера тварини та інформацію про тривалість її знаходження на установці до БЗОД, який в свою чергу передає цю інформацію до сервера системи.

1.7 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД

1.7.1 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД, що використовуються при прив'язному утриманні тварин

При прив'язному утриманні тварин реалізується концепція «людина вирішує, коли тварині доїтися і коли харчуватися». Прив'язне

утримання зумовлює застосування виключно стійлових доїльних установок у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм. На рис. 1.22 наведена типова структурна схема ІВС ПБТСД з автоматичною або автоматизованою системою ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки [108].

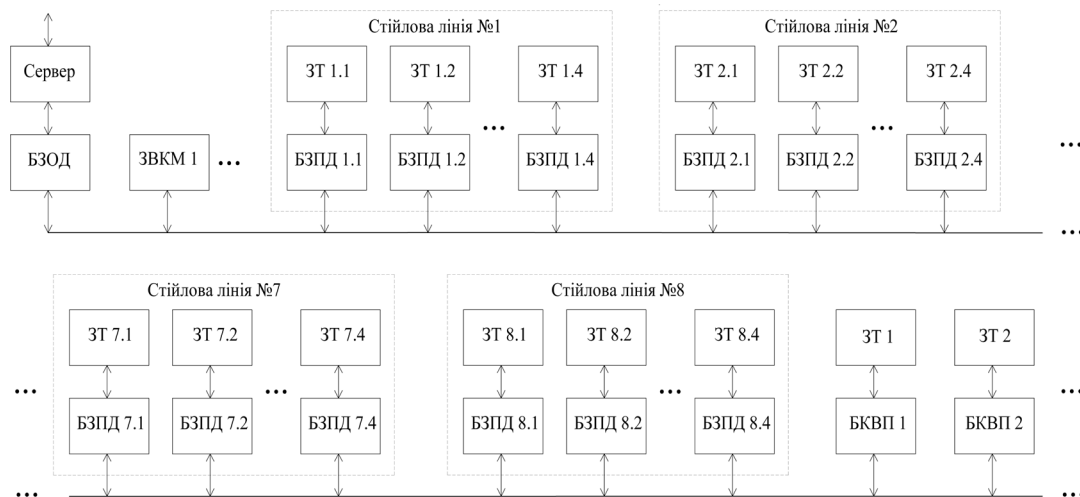


Рисунок 1.22 – Структурна схема ІВС ПБТСД з автоматичною або автоматизованою системою ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки

Вимірювання та контроль основних параметрів БТСД у цій системі здійснюється за допомогою БЗПД під час доїння тварин. Після закінчення доїння кожної тварини результати вимірювання та контролю параметрів БТСД і номер транспондера тварини або її стадний номер передаються до сервера системи за посередництва БЗОД. При прив'язному утриманні у наведеній системі за допомогою ЗВКМ вимірюється загальна кількість отриманого молока, селекційні ворота не використовуються та чесальна активність не вимірюється, але вага тварин періодично контролюється. У цьому випадку БКВП обладнані ЗТ, мають інтегрований БКЗТ та входять до складу ІВС ПБТСД. Якщо у системі ідентифікації, що використовується у складі ІВС ПБТСД, транспондери закріплені не на тварині, то на вагових платформах використовується ручна ідентифікація тварин.

На рис. 1.23 наведено типовий варіант структурної схеми ІВС ПБТСД з ручною системою ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки. У цій ІВС ПБТСД відсутні ЗТ, номер тварини вводиться доярем вручну до БЗПД за допомогою інтегрованої клавіатури (К). Якщо стадний номер тварини або номер стійлового місця не буде вве-

дений доярем перед початком доїння, то робота БЗПД буде програмно заблокована. В усьому іншому робота цієї ІВС ПБТСД аналогічна попередньо розглянутій.

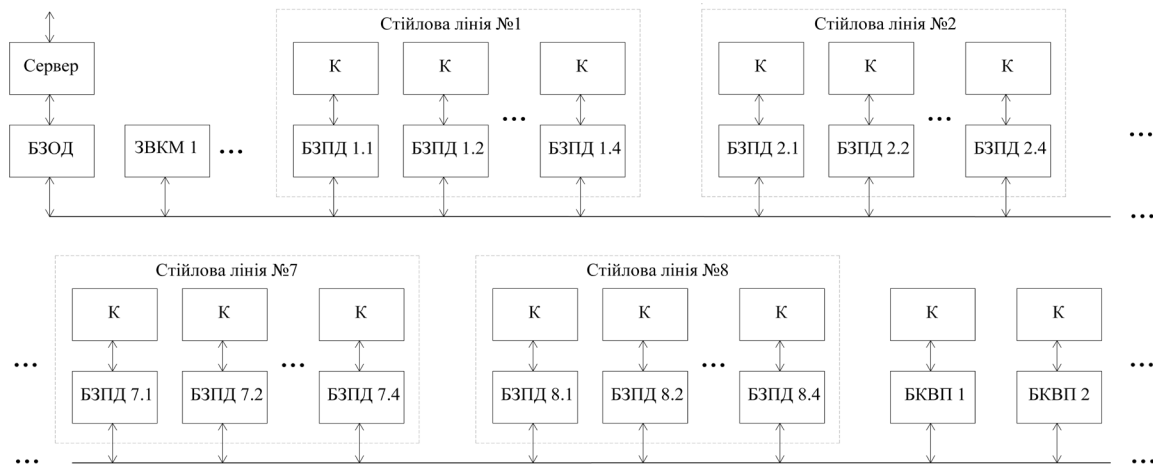


Рисунок 1.23 – Структурна схема ІВС ПБТСД з ручною системою ідентифікацією тварин для стійлової доїльної установки

На рис. 1.24 наведено типову структурну схему варіанта ІВС ПБТСД для стійлової доїльної установки, у якому ідентифікація тварин взагалі не здійснюється.

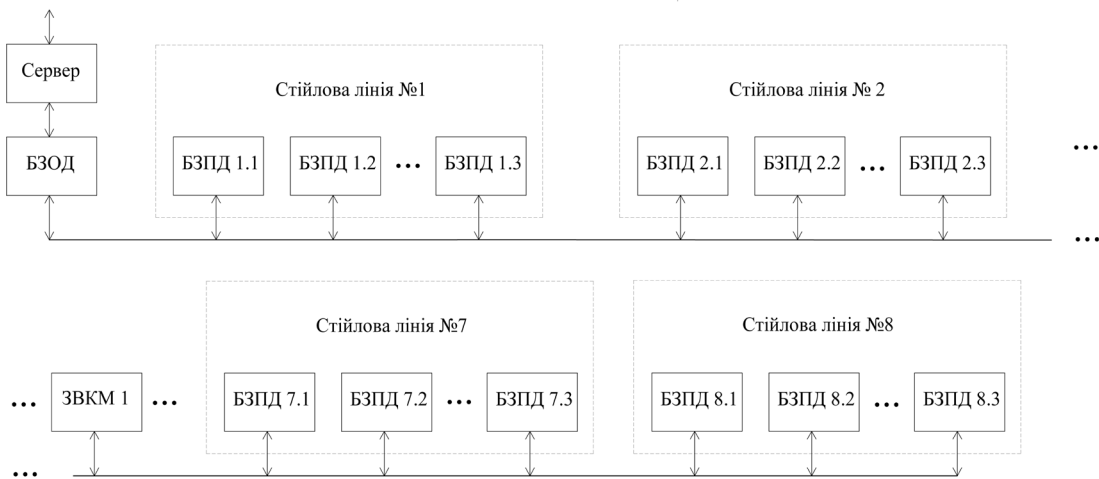


Рисунок 1.24 – Структурна схема ІВС ПБТСД без ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки

Відповідно, індивідуальні параметри тварин у такій системі не визначаються. За допомогою цієї системи можливе отримання вимірної інформації тільки про параметри певних груп тварин, які є частиною усього комплексу параметрів БТСД. У наведеній на рис. 1.24

ІВС ПБТСД без ідентифікації тварин може бути отримана вимірювальна інформація про середні значення деяких параметрів молока у кожній лінії, загальну кількість отриманого молока, загальний удій групи тварин у лінії, тривалість роботи установки, тривалість роботи кожної лінії, середній удій тварин окремих ліній та всього стада, середній час доїння тварин окремих ліній та всього стада, кількість повторних під'єднань доїльних апаратів у кожній лінії, кількість випадків холостих доїнь у кожній лінії, тривалість холостих доїнь у кожній лінії, кількість відпадань доїльного апарата у кожній лінії. Уся необхідна для визначення вищевказаних параметрів вимірювальна інформація про параметри БТСД отримується за допомогою БЗПД під час доїння, після закінчення доїння інформація за посередництва БЗОД передається до сервера системи.

Можливий варіант, коли у такій системі проводиться контроль ваги тварин, який здійснюється за допомогою платформи, яка обладнана клавіатурою. У цьому випадку, при зважуванні тварин здійснюється їх ручна ідентифікація, стадний номер вводиться доярем до БКВП за допомогою клавіатури, після чого відповідна інформація передається до сервера системи. Вага тварини у такому варіанті системи є єдиним індивідуальним зоотехнічним параметром, що визначається.

На рис. 1.25 наведено найбільш розповсюджений до цього часу варіант структурної схеми ІВС ПБТСД для стійлової доїльної установки, у якому не використовуються БЗПД. Така ІВС ПБТСД використовується на стійлових установках найнижчої цінової категорії. Індивідуальні параметри тварин у такій системі

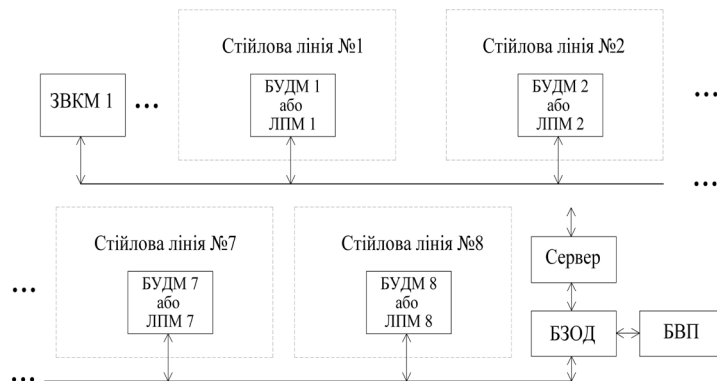


Рисунок 1.25 – Структурна схема ІВС ПБТСД для стійлової доїльної установки з відсутністю БЗПД

також не визначаються, можливе отримання вимірювальної інформації тільки про параметри певних груп тварин. На таких доїльних установках застосовуються виключно доїльні апарати без функції керування процесом доїння [2].

В процесі доїння молоко від кожної тварини потрапляє в молокопровід, після чого стікає в дозатор, який знаходиться в кінці кожної

лінії. Після того як в дозаторі накопичується порція молока встановленого об'єму, спрацьовує зливний клапан і порція зливається в автоматичну мішалку або холодильну установку.

У цій ІВС ПБТСД отримується вимірювальна інформація про наявність води в молоці у кожній лінії, загальну кількість отриманого молока, загальний удій групи тварин у лінії, тривалість роботи установки, тривалість роботи кожної лінії, середній удій тварин окремих ліній та всього стада, середній час доїння тварин окремих ліній та всього стада. Уся необхідна для визначення вищевказаних параметрів вимірювальна інформація про параметри БТСД отримується за допомогою БЗПД під час доїння, після закінчення доїння інформація за посередництва БЗОД передається до сервера системи.

Контроль наявності води в молоці у цій системі особливо важливий, тому що при роботі на таких установках у кожного дояра є ємність з водою, яка необхідна для підготовки тварин до доїння. Часто трапляються випадки, коли дояр за допомогою доїльного апарата всмоктує воду в молокопровід з метою підвищення показників удою, тому що в залежності від них йому нараховується заробітна плата.

Кожна лінія стійлової доїльної установки обладнана блоком управління дозатором молока (БУДМ) або лічильником порцій молока (ЛПМ). БУДМ здійснює управління електромагнітними клапанами дозатора як у режимі доїння, так і у режимі промивання системи, здійснює підрахунок кількості порцій молока у кожній лінії з метою визначення удою у кожній лінії, здійснює вимірювання та контроль прозорості та електропровідності молока у кожній лінії з метою виявлення його розбавлення водою, за допомогою БЗОД здійснює обмін даними з сервером системи та блоком відображення параметрів (БВП). За допомогою БВП відображається поточний удій у кожній лінії та на всій установці, відображається інформація про спробу фальсифікації удою у певній лінії молокопроводу. ЛПМ виконує ті самі функції, що і БУДМ, окрім управління електромагнітними клапанами дозатора.

У ІВС ПБТСД, яка наведена на рис. 1.25, можливий контроль ваги тварин. Він здійснюється так само, як і у попередньо розглянутій ІВС ПБТСД, структурна схема якої наведена на рис. 1.24.

1.7.2 Огляд та аналіз ІВС ПБТСД, що використовуються при безприв'язному утриманні тварин

При безприв'язному утриманні тварин реалізовано дві концепції: «людина вирішує, коли тварині доїтися, тварина вирішує, коли їй харчуватися» та «тварина вирішує, коли їй доїтися і коли харчуватися». При організації доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм згі-

дно з першою концепцією використовуються групові доїльні установки, конвеєрні доїльні установки, доїльні установки з прохідними станками. При організації доїльно-молочних відділень згідно з другої концепцією використовуються доїльні роботи.

Розглянемо рис. 1.26, на якому наведена типова структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ідентифікацією тварин під час руху [2, 88, 108].

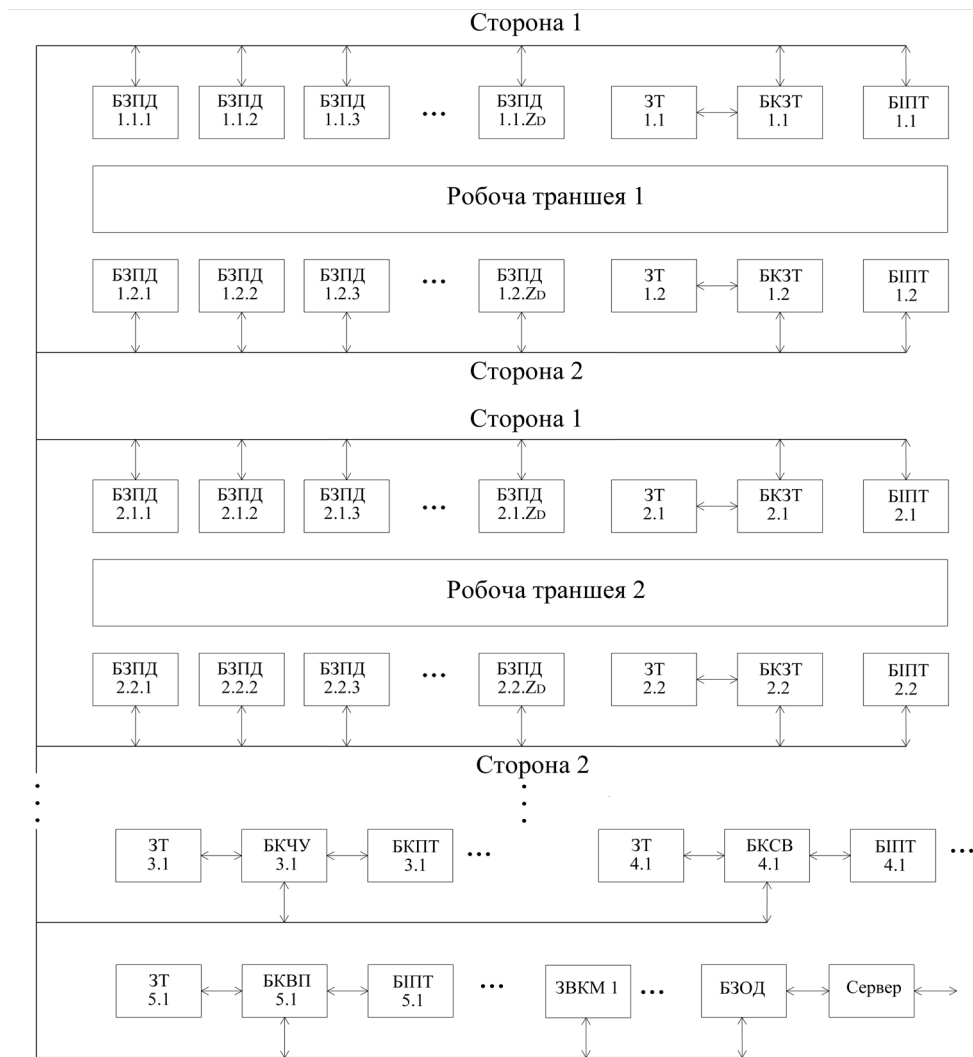


Рисунок 1.26 – Структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ідентифікацією тварин під час руху

На групових установках можуть використовуватися доїльні апарати з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. Вимірювання та контроль параметрів БТСД відбувається протягом технологічного процесу отримання молока. За допомогою ІВС ПБТСД при використанні групової доїльної установки з

ідентифікацією тварин під час руху можливе вимірювання та контроль усього комплексу параметрів БТСД. До складу ІВС ПБТСД входять БПТ, які забезпечують ідентифікацію проходження тварин та їх підрахунок у потоках при їх проходженні до доїльних станків, до селекційних воріт, до чесальних установок та вагових платформ. БПТ забезпечує мінімізацію втрат вимірювальної інформації внаслідок біологічних особливостей руху тварин у потоці та у випадку виникнення помилок ідентифікації. Після закінчення доїння результати вимірювання та контролю параметрів і номер транспондера тварини або її стадний номер передаються до сервера системи за посередництва БЗОД.

На рис. 1.27 наведена типова структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ідентифікацією нерухомих тварин [2, 88, 108]. У цьому варіанті ІВС ПБТСД кожний БЗПД або доїльний станок обладнаний ЗТ. Якщо використовуються ЗТ середньої або великої відстані, у системі здійснюється автоматична ідентифікація тварин. У цьому випадку можливе використання селекційних воріт та вимірювання і контроль усього комплексу параметрів БТСД, в тому числі автоматичний контроль ваги тварин, вимірювання чесальної активності, румінації, активності.

Якщо використовується ЗТ малої відстані, у системі здійснюється автоматизована ідентифікація тварин. У цьому випадку дояр підносить ЗТ до закріпленого на нозі транспондера під час підготовки тварини. У випадку втрати або пошкодження транспондера дояр вводить номер тварини до БЗПД вручну за допомогою клавіатури. При використанні ЗТ малої відстані у складі ІВС ПБТСД селекційні ворота не використовуються, чесальна активність та румінація не вимірю-

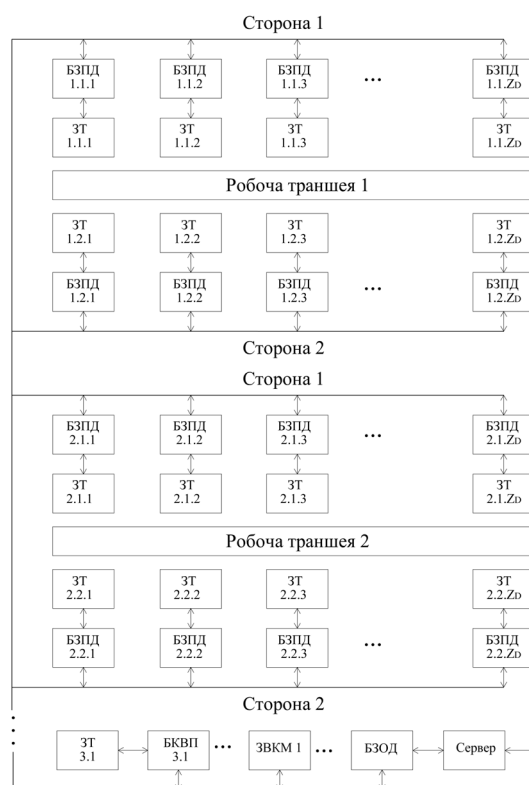


Рисунок 1.27 – Структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ідентифікацією нерухомих тварин

ються. Усі інші параметри БТСД за допомогою такої ІВС ПБТСД можна вимірювати та контролювати. Вимірювання активності тварин можливе тільки у випадку, якщо відповідний ЗВ інтегрований в транспондер або закріплений на задній нозі тварини. Вагова платформа у цій системі обладнана таким самим ЗТ, як і БЗПД, відповідно ідентифікація тварини під час контролю ваги здійснюється в автоматизованому режимі. Вимірювальна інформація про більшість параметрів БТСД отримується за допомогою БЗПД, після закінчення доїння інформація за посередництва БЗОД передається до сервера системи.

На рис. 1.28 наведено типову структурну схему ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ручною ідентифікацією нерухомих тварин.

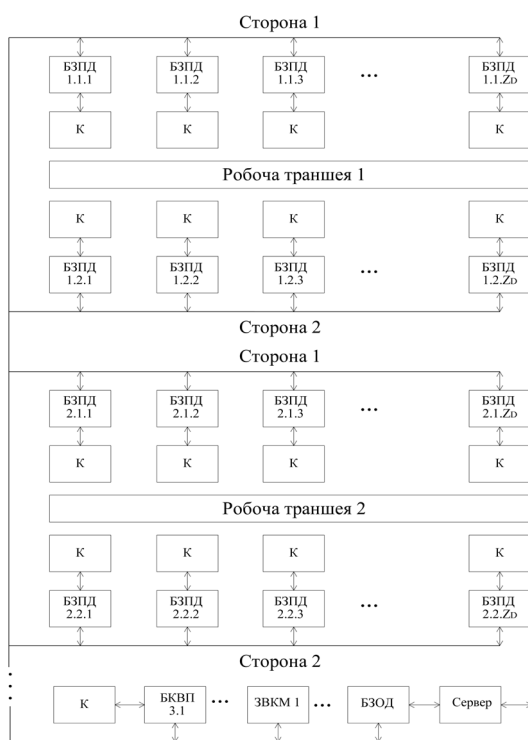


Рисунок 1.28 – Структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки з ручною ідентифікацією нерухомих тварин

У такій системі відсутні ЗТ, під час підготовки тварини до доїння у доїльному станку та на вагових платформах стадний номер тварини вводиться доярем вручну за допомогою інтегрованої до БЗПД клавіатури. У ІВС ПБТСД з ручною ідентифікацією тварин неможливе вимірювання чесальної активності, румінації, активності, використання селекційних воріт. Вимірювання усіх інших параметрів БТСД за допомогою цієї системи можливе.

На групових доїльних установках найнижчої цінової категорії використовуються ІВС ПБТСД без ідентифікації тварин. Структурна схема такої ІВС ПБТСД наведена на

рис. 1.29. При використанні такої системи можливе вимірювання та контроль загальної кількості отриманого молока, загального удою груп тварин, удою, який отриманий на кожній стороні установки, удою у кожному станку, тривалості роботи установки, середнього удою тварин, середнього часу доїння тварин. Також можливий контроль наявності води у молоці, контроль електропровідності молока, підрахунок кількості повторних під'єднань доїльних стаканів, підраху-

нок кількості випадків холостих доїнь, вимірювання тривалості холостих доїнь, підрахунок кількості відпадань доїльних апаратів. Контроль ваги тварин у цій системі здійснюється у ручному режимі, стадний номер тварини вводиться оператором вручну за допомогою клавіатури інтегрованої до БКВП. До складу ІВС ПБТСД для групової доїльної установки без ідентифікації тварин як правило, входить БВП, за допомогою якого відображається поточний удій на всій установці, відображається інформація про наявність води у молоці, відображається поточний час доїння та деякі інші параметри.

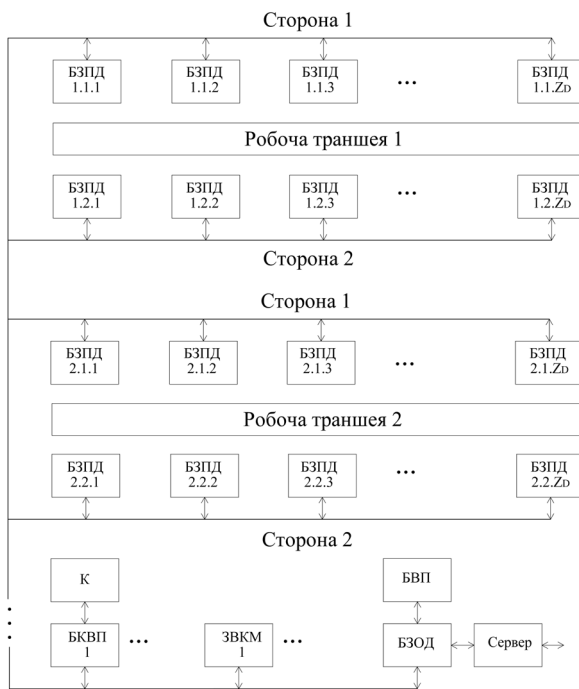


Рисунок 1.29 – Структурна схема ІВС ПБТСД для групової доїльної установки без ідентифікації тварин

При безприв'язному утриманні та великій кількості тварин у стаді використовуються конвеєрні доїльні установки. Конвеєрні доїльні установки відносяться до установок найвищої цінової категорії. На таких установках використовуються виключно доїльні апарати з функцією керування процесом доїння. Як правило, у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм з конвеєрними доїльними установками використовуються усі можливі технічні складові БТСД. За допомогою ІВС

ПБТСД на таких установках забезпечується вимірювання та контроль усього комплексу параметрів БТСД. На рис. 1.30 наведено типову структурну схему ІВС ПБТСД для конвеєрної доїльної установки з ідентифікацією тварин під час руху. Під час входу тварин на конвеєр, вони ідентифікуються за допомогою відповідного ЗТ, коди транспондерів дешифруються за допомогою БКЗТ та передаються до БЗОД. БЗОД передає їх до сервера інформаційно-вимірювальної системи, де визначаються номери тварин у стаді, які відповідають кодам транспондерів.

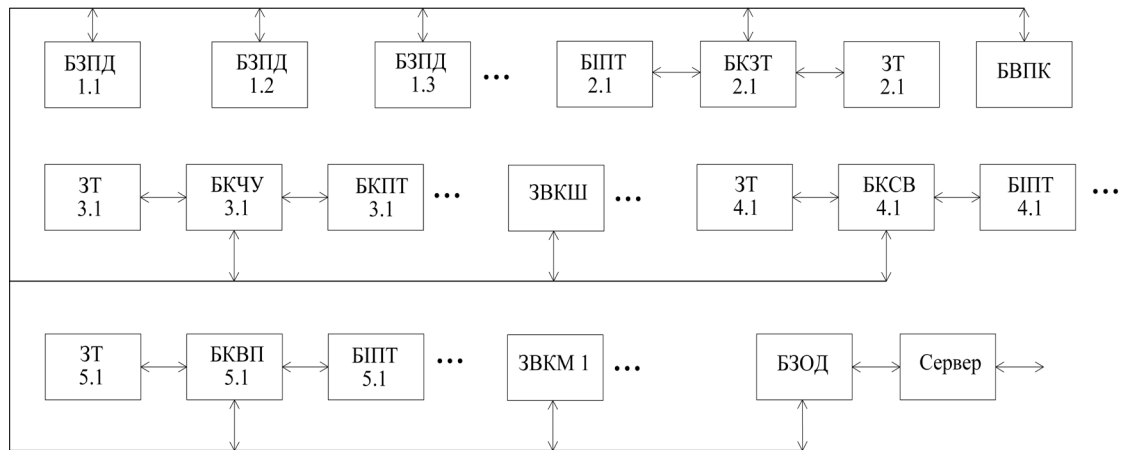


Рисунок 1.30 – Структурна схема ІВС ПБТСД для конвеєрної доїльної установки з ідентифікацією тварин під час руху

Після цього сервер передає номери тварин до БЗОД, який в свою чергу надсилає їх до відповідних БЗПД. БПТ забезпечує зменшення імовірності виникнення помилки ідентифікації, яка зумовлена біологічними особливостями руху тварин. Вимірювальна інформація про активність тварин та їх румінацію отримується за допомогою ЗТ під час ідентифікації. За допомогою БВПК забезпечується вимірювання поточного кутового положення доїльної платформи з метою визначення номера доїльного станка, у який зайшла тварина. Вимірювальна інформація, яка отримується за допомогою ЗВ кутової швидкості (ЗВКШ), в деяких випадках необхідна для системи автоматичного управління кутовою швидкістю доїльної платформи. Така система використовується в тих конвеєрних доїльних установках, у яких кутова швидкість платформи змінюється в залежності від очікуваного значення тривалості доїння тварин, що знаходяться на конвеєрі. Виміряні та контрольовані за допомогою БЗПД параметри БТСД ставляться у відповідність номера конкретної тварини, та за посередництва БЗОД передаються до сервера ІВС ПБТСД.

На рис. 1.31 наведено типову структурну схему ІВС ПБТСД для конвеєрної доїльної установки з ідентифікацією нерухомих тварин. У такій системі ідентифікація тварин здійснюється у доїльних станках за допомогою ЗТ, які там розміщені. Таке технічне рішення дозволяє значно підвищити надійність роботи системи ідентифікації, але значно збільшує собівартість ІВС ПБТСД. В усьому іншому функціонування цієї ІВС ПБТСД аналогічне попередньо розглянутій.

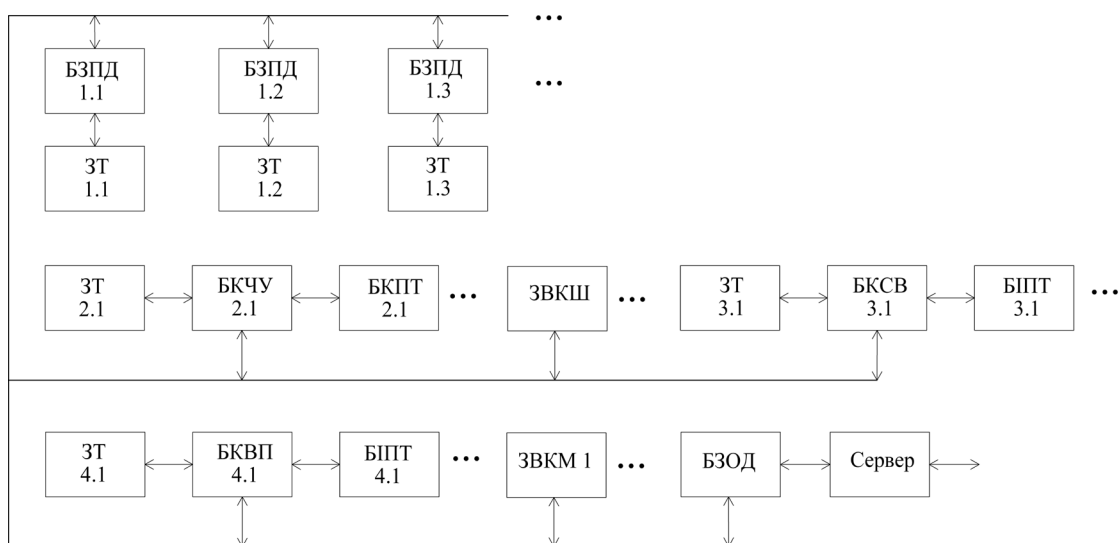


Рисунок 1.31 – Структурна схема ІВС ПБТСД для конвеєрної доїльної установки з ідентифікацією нерухомих тварин

На рис. 1.32 наведена типова структурна схема ІВС ПБТСД при використанні доїльних роботів.

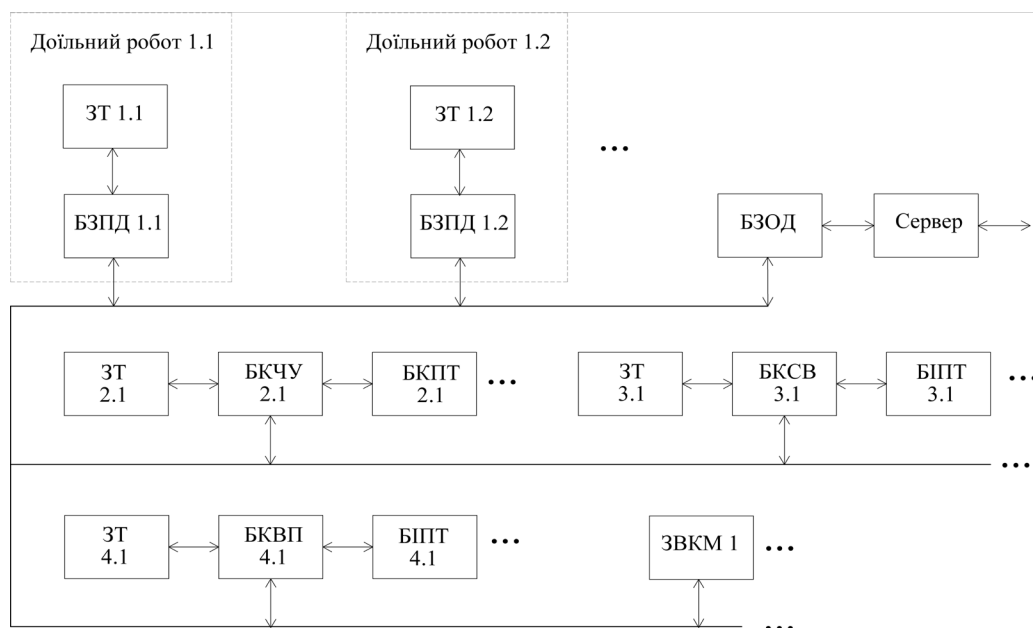


Рисунок 1.32 – Структурна схема ІВС ПБТСД при використанні доїльних роботів

Доїльні роботи використовуються при безприв'язному утриманні тварин у невеликих фермерських господарствах, при їх використанні реалізується концепція «тварина керує харчуванням, тварина керує

доїнням» [28]. Усі технологічні операції, які пов'язані з доїнням, у цьому випадку виконуються в автоматичному режимі [109–111]. Як правило, на роботизованій доїльній установці використовується декілька роботів, тварини користуються ними протягом доби, у відповідності з своїми лактаційними потребами. Після входу тварин на платформу доїльного робота, вони ідентифікуються за допомогою відповідних ЗТ, коди транспондерів дешифруються за допомогою БКЗТ інтегрованих в БЗПД та за допомогою БЗОД передаються до сервера інформаційно-вимірювальної системи, де визначаються номери тварин у стаді, які відповідають кодам транспондерів. Вимірювальна інформація про активність тварин та їх румінацію отримується за допомогою ЗТ під час ідентифікації. Виміряні та контрольовані за допомогою БЗПД параметри БТСД ставляться у відповідність номера конкретної тварини та передаються до сервера ІВС ПБТСД.

Іноді, при безприв'язному утриманні тварин, використовуються доїльні установки з прохідними станками, до яких відноситься установка «Тандем» та установка з паралельно-прохідними станками. На таких доїльних установках ідентифікація тварин під час руху взагалі не використовується, здійснюється виключно ідентифікація нерухомих тварин. Принципова різниця між груповими доїльними установками та доїльними установками з прохідними станками полягає в тому, що на доїльних установках з прохідними станками кожний доїльний станок має свої входні та вихідні ворота і він має інше розташування відносно дояра. Типові структурні схеми та принципи функціонування ІВС ПБТСД з ідентифікацією нерухомих тварин та без їх ідентифікації для групових доїльних установок та доїльних установок з прохідними станками збігаються (рис. 1.27–1.28).

1.8 Висновки

1. Проведено аналіз особливостей функціонування біотехнічної системи доїння, визначено, що якість забезпечення взаємозв'язку між підсистемами БТСД, в значній мірі залежить від метрологічних характеристик ІВС ПБТСД. Виходячи з цього, подальший розвиток теорії таких систем, покращення їх метрологічних та інших технічних характеристик, є важливим та актуальним завданням.

2. На основі результатів проведених досліджень розроблено класифікацію сучасних ІВС ДМВТФ, які використовуються у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм. Встановлено, що ІВС ДМВТФ поділяються на три основних групи. До першої групи відно-

сяться ІВС ПБТСД, за допомогою яких забезпечується автоматичне вимірювання та контроль усього комплексу зоотехнічних параметрів тварин, параметрів, які характеризують якість роботи обслуговуючого персоналу ферми, параметрів технологічного процесу отримання молока, які необхідні для оптимізації функціонування БТСД. До другої групи відносяться ІВС ПСМ, які використовуються як виробниками, так і покупцями молока для контролю його якості в процесі отримання та приймання готового продукту. До третьої групи відносяться ІВС ПТО, за допомогою яких здійснюється вимірювання та контроль параметрів технологічного обладнання, яке бере участь у технологічному процесі отримання молока.

3. Проведено аналіз особливостей параметрів БТСД, взаємного впливу його складових елементів та їх впливу на вихідні параметри БТСД. Розроблено узагальнену структурну схему ІВС ПБТСД, яка є однією з найважливіших складових систем автоматичного управління технологічним процесом виробництва молока, проведено аналіз її функціонування. Проведено аналіз складових компонентів ІВС ПБТСД, розглянуто варіанти і умови їх застосування та принципи функціонування.

4. Розроблено класифікацію сучасних ІВС ПБТСД, на основі результатів досліджень запропоновано поділити їх на чотири основні групи: за типом доїльної установки, за наявністю та типом систем ідентифікації, за типом ІВС ПБТСД, за типом параметрів БТСД. За типом доїльної установки, ІВС ПБТСД можуть бути призначені для конвеєрних доїльних установок, доїльних роботів, групових доїльних установок, стійлових доїльних установок, доїльних установок з прохідними станками. За наявністю та типом систем ідентифікації тварин ІВС ПБТСД поділяються на системи з ідентифікацією тварин та без ідентифікації тварин. За типом ІВС ПБТСД поділяються на вимірювальні системи параметрів БТСД, системи автоматичного контролю параметрів БТСД, ІВС ПБТСД з діагностикою елементів БТСД, комбіновані ІВС ПБТСД. За типом параметрів БТСД, ІВС ПБТСД поділяються на ІВС зоотехнічних параметрів тварин, на ІВС зоотехнічних параметрів тварин та параметрів роботи оператора, та ІВС параметрів усіх складових елементів БТСД.

5. На основі результатів проведених досліджень розроблено класифікацію сучасних систем ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД. Запропоновано поділити системи ідентифікації тварин для ІВС ПБТСД на сім основних груп: за розташуванням транспондера, за динамікою об'єкта ідентифікації, за місцем використання ЗТ у системах іденти-

фікації, за участю оператора в процесі ідентифікації, за відстанню роботи ЗТ у системі ідентифікації, за типом інтерфейсу для комунікації з транспондером системи ідентифікації, за типом доїльної установки.

6. Проведено аналіз систем ідентифікації тварин для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм, запропоновано та розглянуто принципи функціонування і варіанти реалізації систем ідентифікації нерухомих та рухомих тварин у складі ІВС ПБТСД для різних типів доїльних установок.

7. Запропоновано новий спосіб автоматичної радіочастотної ідентифікації для стійлових доїльних установок, при реалізації якого транспондери розташовані не на тваринах, а на місцях встановлення переносних БЗПД. Внаслідок такого технічного рішення мінімізується участь дояра в процесі ідентифікації та може бути забезпечене примусове виконання доярем регламенту експлуатації доїльної установки. Окрім того, при зміні структури або складу доїльної групи не виникає необхідності у корегуванні бази даних тварин, здійснюється лише зміна місця розташування транспондерів.

8. Проведено аналіз типових структурних схем сучасних ІВС ПБТСД для усіх типів доїльних установок при використанні різних систем ідентифікації тварин. Розглянуто принципи їх функціонування, особливості роботи, проведено аналіз параметрів БТСД, які за допомогою цих ІВС ПБТСД вимірюються та контролюються.

2 СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ДОЇЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Статистичні моделі тривалості процесу машинного доїння

Невід'ємною складовою процесу машинного доїння є технологічний процес підготовки тварини. В роботах [112, 113] розглянуто цей процес і пропонується вважати постійною його тривалість при розрахунках продуктивності доїльної установки. Це твердження можна вважати об'єктивним тільки для випадку використання доїльних роботів, у яких тривалість підготовки є детермінованою величиною. На звичайних доїльних установках тривалість підготовки тварини є випадковою величиною, яка залежить від низки факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру, наприклад, від способу утримання тварин, кваліфікації оператора, його відповідальності, інших випадкових факторів. Процес підготовки тварини до доїння складається з таких технологічних операцій: миття вимені, ручне видоювання перших струменів молока, масаж вимені, протимаститна обробка вимені, вдягання доїльних стаканів. У випадку, якщо доїльна установка обладнана ІВС ПБТСД, у якій передбачена ідентифікація тварин, можуть додаватись ще такі технологічні операції: ручне введення номера тварини за відсутності автоматичної ідентифікації, піднесення доярем до транспондера тварини ЗТ (для випадків автоматизованої ідентифікації), ручне введення номера тварини, якщо не спрацювала система ідентифікації [114]. Окрім того можуть бути присутні випадкові затримки технологічних операцій, які зумовлені недостатньою кваліфікацією або недобросовісністю дояра, падінням доїльних стаканів, відмовами технічних засобів машинного доїння та іншими причинами.

На основі проведених досліджень [115, 116], встановлено, що диференційний закон розподілу часу підготовки тварини до доїння t_p наближається до хі-квадрат розподілу як при прив'язаному утриманні тварин, так і при безприв'язаному. Аналітичний вираз для хі-квадрат розподілу тривалості підготовки тварини до доїння [117]

$$p_{PD}(t_p) = \frac{t_p^{\frac{k_{PD}}{2}-1} e^{-\frac{t_p}{2}}}{2^{\frac{k_{PD}}{2}} \Gamma(k_{PD}/2)}, \quad (2.1)$$

де k_{PD} – параметр закону розподілу; $\Gamma(z)$ – гамма-функція Ейлера.

Для хі-квадрат розподілу математичне очікування визначається виразом

$$M_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{t_P^{\frac{k_{PD}}{2}} e^{-\frac{t_P}{2}}}{2^{\frac{k_{PD}}{2}} \Gamma(k_{PD}/2)} dt_P = k_{PD}, \quad (2.2)$$

а дисперсія

$$D_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{(t_P - k_{PD})^2 t_P^{\frac{k_{PD}-1}{2}} e^{-\frac{t_P}{2}}}{2^{\frac{k_{PD}}{2}} \Gamma(k_{PD}/2)} dt_P = 2k_{PD}. \quad (2.3)$$

Час видоювання тварини є випадковою величиною, яка певною мірою залежить від принципу розподілу тварин за групами, алгоритму роботи доїльного апарата, типу доїльного апарата, типу доїльної установки і т. д. У роботах [118–120] пропонується як статистичну модель часового інтервалу видоювання тварини використовувати нормальний закон розподілу та здійснювати прогнозування тривалості доїння за допомогою квадратичної регресії. У роботах [121, 122] пропонується в якості статистичної моделі часового інтервалу тривалості доїння на конвеєрних установках використовувати нормальний закон розподілу, в роботі [123] пропонується те саме для установки «Ялинка», в роботах [124, 125] – для усіх доїльних установок, у [126] – для установки «Карусель». Слід зазначити, що нормальний закон розподілу не відображає важливу особливість часового інтервалу тривалості доїння, а саме те, що тривалість доїння не може бути меншою за певну величину або нуль. Окрім того, внаслідок наявності певної кількості тугодійних тварин, закон розподілу тривалості доїння повинен мати певну асиметрію, чого не має нормальний закон. Можливість попадання на доїльну установку сухостійної тварини також не враховується при використанні нормального закону. У роботах [28, 127] наводяться результати досліджень, на основі яких пропонується вважати тривалість видоювання тварини випадковою величиною розподіленою за логнормальним законом, який широко використовується для статистичного моделювання багатьох біологічних процесів [128, 129].

В результаті проведених спостережень встановлено, що закон розподілу часу доїння тварини наближається до логнормального, якщо тварини розподілені на велику кількість груп у відповідності до стадії їх лактаційного періоду. В реальності ця умова виконується дуже рідко. Окрім цього, в [28, 127] не враховується час мінімальної роботи доїльного апарата з функцією керування процесом доїння, який має детерміноване значення, та не враховується можливість доїння сухостійних тварин.

Циклограма типового алгоритму роботи з доїльним апаратом, який має функцію керування процесом доїння наведена на рис. 2.1.

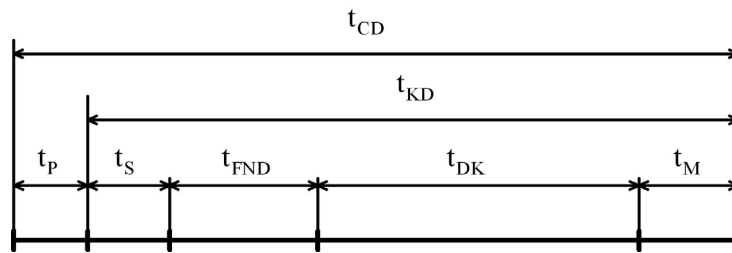


Рисунок 2.1 – Циклограма типового алгоритму роботи з доїльним апаратом, який має функцію керування процесом доїння

Після підготовки тварини до доїння протягом часу t_p та одягання доїльних стаканів, дояр запускає доїльний апарат, який протягом детермінованого часу t_s здійснює стимуляцію вимені. Після закінчення фази стимуляції відбувається перехід до фази некерованого доїння. Під час фази некерованого доїння протягом детермінованого часу t_{FND} інтенсивність молоковіддачі тварини не вимірюється. Після цього здійснюється перехід до фази керованого доїння, під час якої вимірюється інтенсивність молоковіддачі, і, в залежності від її значення, встановлюється оптимальна частота і шпаруватість пульсацій вакууму в доїльних стаканах доїльного апарата. Фаза керованого доїння має випадкову тривалість t_{DK} . Після того як відбулося зниження інтенсивності молоковіддачі нижче певного значення (як правило, це 200 г/хв), відбувається перехід до фази додоювання, під час якої протягом детермінованого часу t_M здійснюється періодичний масаж вимені. При збільшенні інтенсивності молоковіддачі протягом фази додоювання, можлива пролонгація її тривалості. Час керованого доїння t_{KD} при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу фази стимуляції, часу фази некерованого доїння, часу фази керованого доїння, часу фази масажу вимені. Загальний час роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу керованого доїння та часу підготовки тварини до доїння.

На рис. 2.2 наведена циклограма типового алгоритму роботи з доїльним апаратом без функції керування процесом доїння.

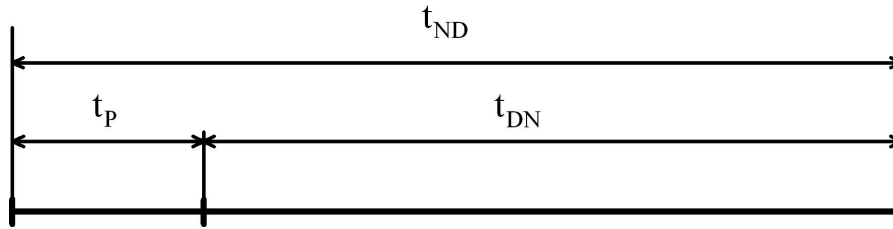


Рисунок 2.2 – Циклограма типового алгоритму роботи з доїльним апаратом без функції керування процесом доїння

Після підготовки тварини до доїння протягом часу t_p та одягання доїльних стаканів, дояр запускає доїльний апарат, який протягом випадкового часу некерованого доїння t_{DN} здійснює видоювання тварини. Через певний проміжок часу дояр візуально оцінює поточний стан процесу доїння, і за певними ознаками робить суб'єктивний висновок про необхідність його завершення. Таким чином, при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, час некерованого доїння t_{DN} , за який здійснюється видоювання тварини, є випадковою величиною. Загальний час роботи з твариною при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння визначається як сума часу некерованого доїння і часу підготовки тварини до доїння. В результаті проведення досліджень часу некерованого доїння t_{DN} при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, встановлено, що розподіл цього часового інтервалу наближається до гамма-розподілу і визначається виразом [117]

$$p_{DN}(t_{DN}) = \frac{t_{DN}^{l_{DN}} e^{-\frac{t_{DN}}{m_{DN}}}}{m_{DN}^{l_{DN}+1} \Gamma(l_{DN} + 1)}, \quad (2.4)$$

де l_{DN} , m_{DN} – параметри розподілу.

Математичне очікування часу некерованого доїння t_{DN} при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{DN} = \int_0^{+\infty} \frac{t_{DN}^{l_{DN}+1} e^{-\frac{t_{DN}}{m_{DN}}}}{m_{DN}^{l_{DN}+1} \Gamma(l_{DN} + 1)} dt_{DN} = m_{DN} (l_{DN} + 1), \quad (2.5)$$

а дисперсія часу некерованого доїння t_{DN} при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом

$$D_{DN} = \int_0^{+\infty} \frac{(t_{DN} - m_{DN} (l_{DN} + 1))^2 t_{DN}^{l_{DN}} e^{-\frac{t_{DN}}{m_{DN}}}}{m_{DN}^{l_{DN}+1} \Gamma(l_{DN} + 1)} dt_{DN} = m_{DN}^2 (l_{DN} + 1). \quad (2.6)$$

В результаті дослідження випадкового часу фази керованого доїння t_{DK} доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння, встановлено, що закон розподілу цього часового інтервалу також наближається до гамма-розподілу та визначається виразом

$$p_{DK}(t_{DK}) = \frac{t_{DK}^{l_{DK}} e^{-\frac{t_{DK}}{m_{DK}}}}{m_{DK}^{l_{DK}+1} \Gamma(l_{DK} + 1)}, \quad (2.7)$$

де l_{DK} , m_{DK} – параметри розподілу.

Таким чином, математичне очікування часу фази керованого доїння визначається виразом

$$M_{DK} = \int_0^{+\infty} \frac{t_{DK}^{l_{DK}+1} e^{-\frac{t_{DK}}{m_{DK}}}}{m_{DK}^{l_{DK}+1} \Gamma(l_{DK} + 1)} dt_{DK} = m_{DK} (l_{DK} + 1). \quad (2.8)$$

Дисперсія часу фази керованого доїння визначається виразом

$$D_{DK} = \int_0^{+\infty} \frac{(t_{DK} - m_{DK} (l_{DK} + 1))^2 t_{DK}^{l_{DK}} e^{-\frac{t_{DK}}{m_{DK}}}}{m_{DK}^{l_{DK}+1} \Gamma(l_{DK} + 1)} dt_{DK} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.9)$$

При використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, загальний час роботи з твариною визначається як сума двох випадкових часових інтервалів – тривалості підготовки тварини до доїння та часу некерованого доїння

$$t_{ND} = t_P + t_{DN}. \quad (2.10)$$

Ці дві випадкові величини є незалежними, тому закон розподілу їх суми $p_{ND}(t_{ND})$ знаходиться як згортка їх законів розподілу [130]

$$p_{ND}(t_{ND}) = p_{PD}(t_{ND}) * p_{TD}(t_{ND}) = \int_0^{+\infty} \frac{\tau^{\frac{k_{PD}-1}{2}} (t_{ND} - \tau)^{l_{DN}} e^{-\frac{2t_{ND} + \tau(m_{DN}-2)}{2m_{DN}}}}{2^{\frac{k_{PD}}{2}} m_{DN}^{l_{DN}+1} \Gamma(l_{DN} + 1) \Gamma(k_{PD}/2)} d\tau. \quad (2.11)$$

Наведений інтеграл аналітично не визначається і обчислити його можливо тільки за допомогою чисельних методів.

Математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{ND} = m_{DN} (l_{DN} + 1) + k_{PD}, \quad (2.12)$$

а дисперсія

$$D_{ND} = m_{DN}^2 (l_{DN} + 1) + 2k_{PD}. \quad (2.13)$$

Час керованого доїння при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння складається з часу фази стимуляції, часу фази некерованого доїння, часу фази керованого доїння, часу фази додоювання, та визначається виразом

$$t_{KD} = t_S + t_{FND} + t_{DK} + t_M. \quad (2.14)$$

Математичне очікування часу керованого доїння

$$M_{KD} = t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1), \quad (2.15)$$

дисперсія часу керованого доїння

$$D_{KD} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.16)$$

Загальний час роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу підготовки тварини та часу керованого доїння

$$t_{CD} = t_P + t_{KD} = t_P + t_S + t_{FND} + t_{DK} + t_M. \quad (2.17)$$

Випадковими величинами у виразі (2.17) є час підготовки тварини t_P та час фази керованого доїння t_{DK} . Усі інші величини є детермінованими. Закон розподілу суми вищевказаних випадкових величин визначається виразом

$$p_{CD}(t_{CD}) = p_{PD}(t_{CD}) * p_{DK}(t_{CD}) = \int_0^{+\infty} \frac{\tau^{\frac{k_{PD}-1}{2}} (t_{CD} - \tau)^{l_{DK}} e^{-\frac{2t_{CD} + \tau(m_{DK}-2)}{2m_{DK}}}}{2^{\frac{k_{PD}}{2}} m_{DK}^{l_{DK}+1} \Gamma(l_{DK} + 1) \Gamma(k_{PD}/2)} d\tau. \quad (2.18)$$

Наведений інтеграл аналогічний інтегралу (2.11), він аналітично не визначається, розрахувати його можливо тільки за допомогою чисельних методів.

Математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{CD} = t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1) + k_{PD}, \quad (2.19)$$

а дисперсія

$$D_{CD} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1) + 2k_{PD}. \quad (2.20)$$

При використанні доїльного робота час підготовки тварини до доїння є детермінованою величиною t_{PR} . Виходячи з цього, загальний час роботи з твариною при використанні доїльного робота

$$t_{RD} = t_{PR} + t_S + t_{FND} + t_{DK} + t_M. \quad (2.21)$$

Математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльного робота визначається виразом

$$M_{RD} = t_{PR} + t_S + t_{FND} + m_{DK} (l_{DK} + 1) + t_M, \quad (2.22)$$

а дисперсія

$$D_{RD} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.23)$$

Для подальшого створення та математичного опису статистичних моделей доїльних установок позначимо через t_{Pi} час підготовки i -ї тварини до доїння, а через t_{TDi} – час видоювання i -ї тварини за допомогою одного з типів доїльних апаратів.

При використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, часовий інтервал t_{TDi} дорівнює часу некерованого доїння t_{DN} . Таким чином, у цьому випадку, математичне очікування часового інтервалу t_{TDi} визначається виразом

$$M_{TD} = M_{DN} = m_{DN} (l_{DN} + 1), \quad (2.24)$$

а дисперсія

$$D_{TD} = D_{DN} = m_{DN}^2 (l_{DN} + 1). \quad (2.25)$$

При використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння, часовий інтервал t_{TDi} дорівнює часу керованого доїння t_{KD} . У цьому випадку, математичне очікування часового інтервалу t_{TDi} визначається виразом

$$M_{TD} = M_{KD} = t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1), \quad (2.26)$$

а дисперсія

$$D_{TD} = D_{KD} = m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.27)$$

Вирази (2.10)–(2.13) описують статистичну модель загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, вирази (2.17)–(2.20) – статистичну модель загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння, вирази (2.21)–(2.23) – статистичну модель загального часу роботи з твариною при використанні доїльного робота.

Експериментальні дослідження процесів машинного доїння при різних способах утримання тварин та різних варіантах їх ідентифікації проводилися в ПАТ «Радівське», с. Радівка, Калинівського району Вінницької області (Україна). При визначенні розподілу тривалості підготовки тварини до доїння t_p використана вибірка з 1200 спостережень.

В результаті досліджень встановлено, що при безприв'язному утриманні з автоматичною ідентифікацією тварини $M_{PD}=28$ с, $D_{PD}=56$ с², при безприв'язному утриманні та автоматизованій ідентифікації (дояр наближає ЗТ до транспондера вручну) $M_{PD}=35$ с, $D_{PD}=70$ с², при прив'язному утриманні та відсутності ідентифікації тварин $M_{PD}=32$ с, $D_{PD}=64$ с². На рис. 2.3 наведено графіки отриманих законів розподілу часу підготовки тварини до доїння при різних способах утримання та різних варіантах ідентифікації тварин.

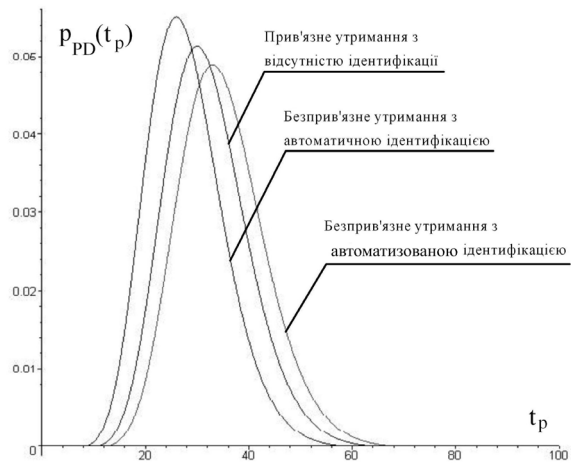


Рисунок 2.3 – Закони розподілу часу підготовки тварини при різних способах утримання та різних варіантах ідентифікації тварин

При дослідженні часу некерованого доїння t_{DN} був використаний доїльний апарат з механічним попарним пульсатором без функції керування процесом доїння УДМ.05.000 виробництва ТДВ «Брацлав» (Україна). Для визначення диференційного закону розподілу цього параметра була використана вибірка з 700 спостережень. В результаті експерименту встановлено, що для досліджуваного стада з прив'язним утриманням $M_{DN}=306$ с, дисперсія $D_{DN}=5750$ с². Графік отриманого диференційного закону розподілу часу некерованого доїння для доїльного апарата без функції управління процесом доїння при прив'язному утриманні тварин наведено на рис. 2.4. При дослідженні часу фази керованого доїння t_{DK} застосовувався БЗПД «Bigmilk» виробництва ТДВ «Брацлав» (Україна), який має функцію керування процесом доїння та у якого $t_S=15$ с, $t_{FND}=30$ с, $t_M=30$. Для визначення диференційного закону розподілу цього параметра використана вибірка з 700 спостережень. В результаті експерименту встановлено, що для досліджуваного стада з безприв'язним утриманням математичне очікування часу фази керованого доїння $M_{DK}=223$ с, дисперсія часу фази керованого доїння $D_{DK}=3745$ с². Графік отриманого диференційного закону розподілу часу фази керованого доїння при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння при безприв'язному утриманні тварин наведено на рис. 2.5.

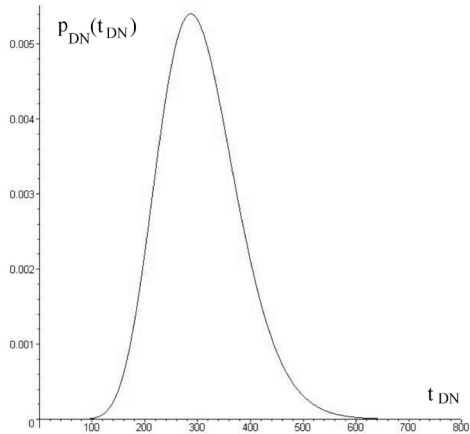


Рисунок 2.4 – Закон розподілу часу некерованого доїння з доїльним апаратом без функції керування процесом доїння при прив'язному утриманні тварин

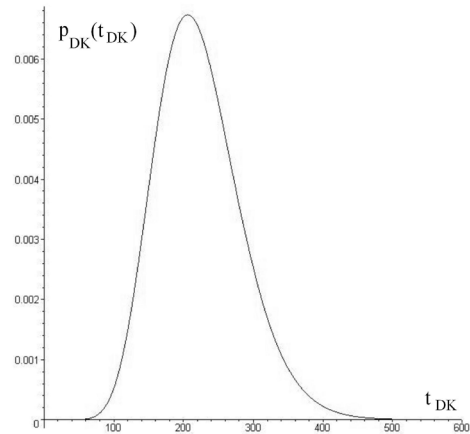


Рисунок 2.5 – Закон розподілу часу фази керованого доїння при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння при безприв'язному утриманні тварин

На рис. 2.6. наведено отриманий графік диференційного закону розподілу загального часу роботи з твариною при прив'язному утриманні та використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, для якого математичне очікування $M_{ND} = 338$ с, дисперсія $D_{ND} = 5814$ с². На рис. 2.7 наведено графік диференційного закону розподілу загального часу роботи з твариною при безприв'язному утриманні з автоматичною ідентифікацією тварин та використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння, для якого математичне очікування $M_{CD} = 326$ с, дисперсія $D_{CD} = 3801$ с².

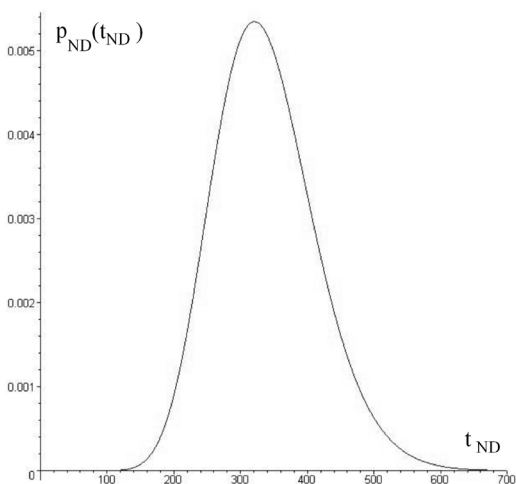


Рисунок 2.6 – Закон розподілу загального часу роботи з твариною при прив'язному утриманні та доїльним апаратом без функції керування процесом доїння

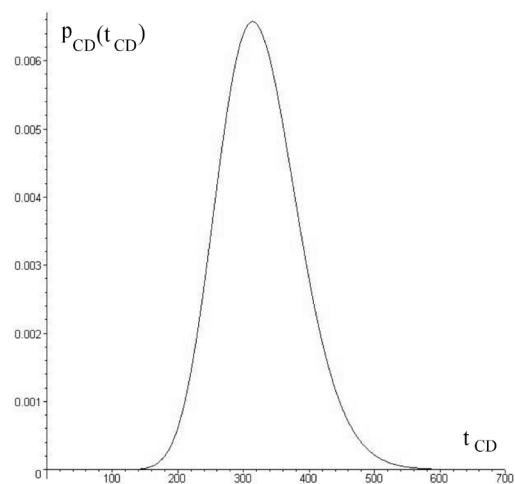


Рисунок 2.7 – Закон розподілу загального часу роботи з твариною при безприв'язному утриманні з автоматичною ідентифікацією та доїльним апаратом з функцією керування процесом доїння

Для оцінення близькості розподілу експериментальних даних до прийнятої моделі закону розподілу в усіх розглянутих випадках було використано критерій згоди Пірсона [131].

2.2 Статистичні моделі роботи стійлової доїльної установки

На основі результатів досліджень, наведених у [115, 116], створено статистичні моделі роботи стійлової доїльної установки, які встановлює функціональний зв'язок між статистичними характеристиками процесу доїння та кількістю тварин у групі, кількістю доїльних апаратів, алгоритмом роботи доїльного апарата. Розроблені моделі мають більш високий ступінь адекватності у порівнянні з існуючими [132, 133]. Алгоритм роботи дояра на стійловій доїльній установці такий [134, 135]. На стійловій доїльній установці для обслуговування групи тварин може бути використано від двох до чотирьох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння або без функції керування процесом доїння. Установка обладнана вакуумними кранами для під'єднання доїльних апаратів. Крани розташовані послідовно на вакуумпроводі – один кран на кожну послідовно розташовану в стійлі пару тварин. Дояр готує першу тварину із першої пари до доїння, після чого надягає доїльний апарат і готує до доїння першу тварину з іншої пари, надягає їй доїльний апарат і переходить до підготовки першої тварини з наступної пари. Так продовжується поки усі доїльні апарати не будуть задіяні. У подальшому дояр спостерігає за процесом доїння, і коли він робить висновок про те, що в першій з пари тварини доїння закінчується, то починає готувати до доїння другу тварину з цієї пари. Після завершення доїння першої тварини з пари дояр надягає відповідний доїльний апарат на другу тварину. Після цього дояр переходить до наступної пари тварин і виконує аналогічні дії. Після завершення доїння усіх задіяних пар, дояр переходить до наступних пар. Описані дії відбуваються доти, поки не буде закінчено доїння в усій стійловій лінії. Як правило, стійлові доїльні установки мають чотири або вісім ліній, кожна з яких обслуговується своїм доярем. В кожній лінії знаходиться група до п'ятдесяти тварин.

Розглянемо циклограми роботи стійлової доїльної установки при різній кількості тварин та різній кількості доїльних апаратів. Циклограма роботи стійлової доїльної установки при використанні двох доїльних апаратів наведена на рис. 2.8. Позначимо через K_S кількість тварин у доїльній групі стійлової доїльної установки, а через Z_S – кількість доїльних апаратів, за допомогою яких обслуговується група.

Введемо параметр N_S , який дорівняє K_S , якщо K_S кратне Z_S , і який дорівняє мінімальному числу більшому ніж K_S і кратному Z_S , якщо K_S не є кратним Z_S . Виходячи з цього, параметр N визначається виразом

$$N_S = \begin{cases} K_S, & \left\{ \frac{K_S}{Z_S} \right\} = 0 \\ Z_S \left(\left[\frac{K_S}{Z_S} \right] + 1 \right), & \left\{ \frac{K_S}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.28)$$

Як впливає із аналізу циклограми, тривалість роботи стійлової установки при парній кількості тварин, коли $K_S = N_S$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{p1} + t_{p2} + \sum_{i=2}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 2, 4, 6 \dots N_S, \quad (2.29)$$

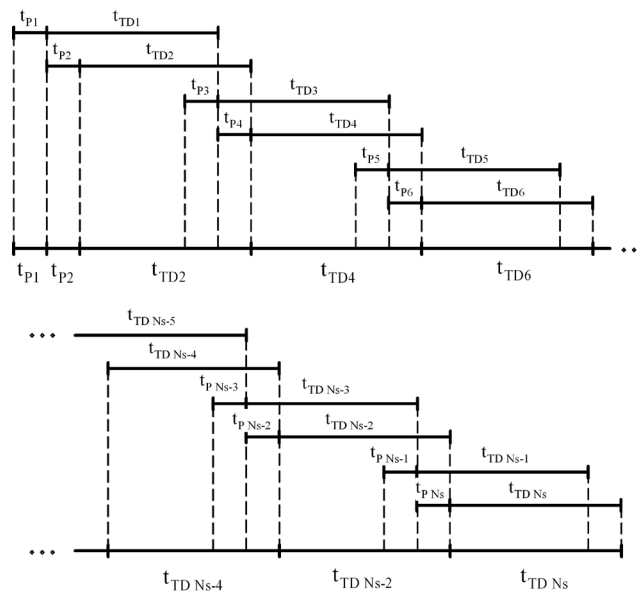


Рисунок 2.8 – Циклограма роботи стійлової доїльної установки при використанні двох доїльних апаратів

Тоді математичне очікування тривалості роботи стійлової установки

$$M_{TDS} = 2M_{PD} + \frac{N_S}{2} M_{TD}. \quad (2.30)$$

Дисперсія тривалості роботи стійлової установки

$$D_{TDS} = 2D_{PD} + \frac{N_S}{2} D_{TD}. \quad (2.31)$$

Якщо $K_S = N_S - 1$, то тривалість роботи стійлової установки

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} - t_{PN} + \sum_{i=2}^{N_S} t_{TDi}, i = 2, 4, 6 \dots N_S. \quad (2.32)$$

Математичне очікування тривалості роботи стійлової установки у цьому випадку визначається виразом

$$M_{TDS} = M_{PD} + \frac{N_S}{2} M_{TD}, \quad (2.33)$$

а дисперсія

$$D_{TDS} = D_{PD} + \frac{N_S}{2} D_{TD}. \quad (2.34)$$

На рис. 2.9 наведено циклограму роботи стійлової доільної установки при використанні трьох доільних апаратів.

Як впливає із аналізу циклограми, тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + \sum_{i=3}^{N_S} t_{TDi}, i = 3, 6, 9 \dots N_S, \quad (2.35)$$

а математичне очікування тривалості роботи стійлової установки

$$M_{TDS} = 3M_{PD} + \frac{N_S}{3} M_{TD}. \quad (2.36)$$

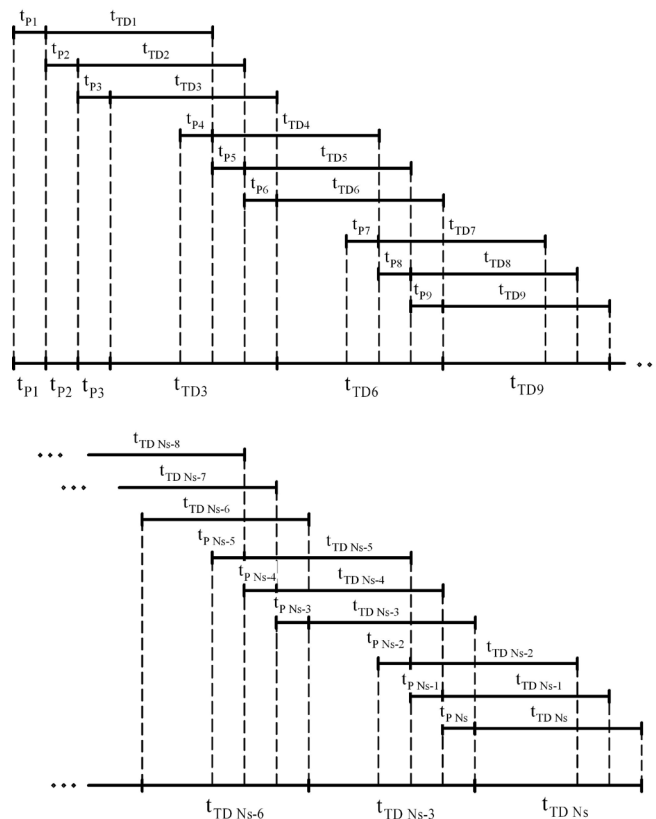


Рисунок 2.9 – Циклограма роботи стійлової доільної установки при використанні трьох доільних апаратів

Дисперсія тривалості роботи стійлової доїльної установки у цьому випадку

$$D_{TDS} = 3D_{PD} + \frac{N_S}{3}D_{TD}. \quad (2.37)$$

Тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S - 1$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} - t_{PN} + \sum_{i=3}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 3, 6, 9 \dots N_S. \quad (2.38)$$

Тоді математичне очікування тривалості роботи стійлової установки

$$M_{TDS} = 2M_{PD} + \frac{N_S}{3}M_{TD}, \quad (2.39)$$

а дисперсія тривалості роботи стійлової установки

$$D_{TDS} = 2D_{PD} + \frac{N_S}{3}D_{TD}. \quad (2.40)$$

Тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S - 2$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} - t_{PN} - t_{PN-1} + \sum_{i=3}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 3, 6, 9 \dots N_S. \quad (2.41)$$

Математичне очікування тривалості роботи стійлової установки у цьому випадку визначається виразом

$$M_{TDS} = M_{PD} + \frac{N_S}{3}M_{TD}, \quad (2.42)$$

а дисперсія тривалості роботи стійлової установки

$$D_{TDS} = D_{PD} + \frac{N_S}{3}D_{TD}. \quad (2.43)$$

На рис. 2.10 наведено циклограму роботи стійлової доїльної установки при використанні чотирьох доїльних апаратів.

Як впливає із аналізу циклограми, тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + t_{P4} + \sum_{i=4}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 4, 8, 12 \dots N_S, \quad (2.44)$$

а математичне очікування тривалості роботи стійлової установки

$$M_{TDS} = 4M_{PD} + \frac{N_S}{4}M_{TD}. \quad (2.45)$$

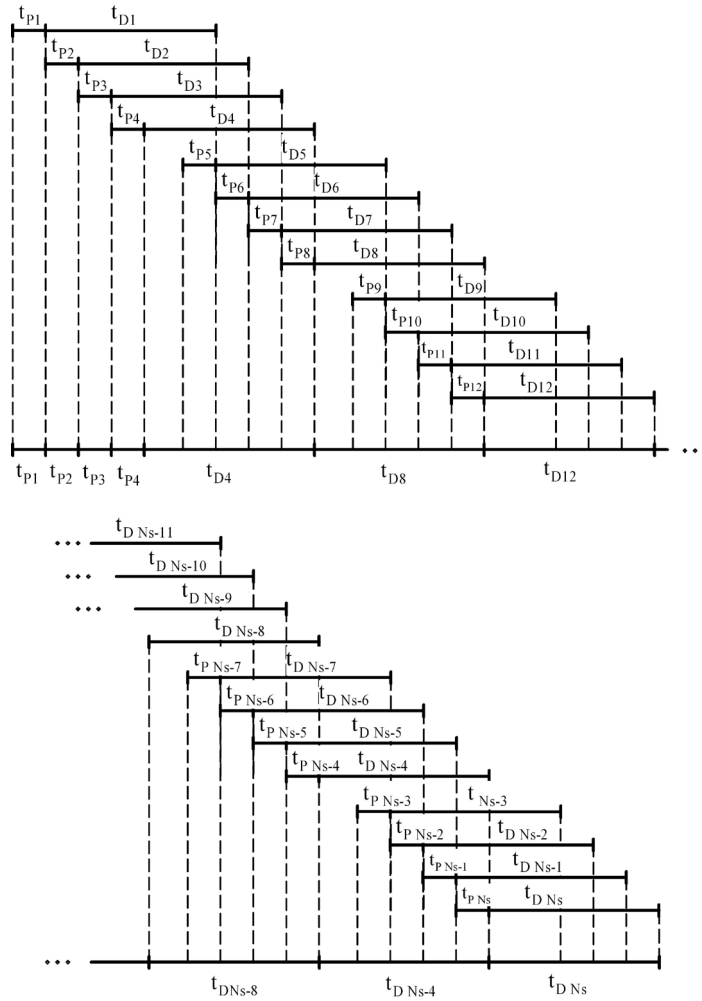


Рисунок 2.10 – Циклограма роботи стійлової доїльної установки при використанні чотирьох доїльних апаратів

Дисперсія тривалості роботи стійлової установки у цьому випадку

$$D_{TDS} = 4D_{PD} + \frac{N_S}{4} D_{TD}. \quad (2.46)$$

Тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S - 1$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + t_{P4} - t_{PN} + \sum_{i=4}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 4, 8, 12 \dots N_S, \quad (2.47)$$

математичне очікування тривалості роботи стійлової установки

$$M_{TDS} = 3M_{PD} + \frac{N_S}{4} M_{TD}, \quad (2.48)$$

дисперсія тривалості роботи стійлової установки визначається як

$$D_{TDS} = 3D_{PD} + \frac{N_S}{4} D_{TD}. \quad (2.49)$$

Тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S - 2$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + t_{P4} - t_{PN} - t_{PN-1} + \sum_{i=4}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 4, 8, 12 \dots N_S, \quad (2.50)$$

математичне очікування

$$M_{TDS} = 2M_{PD} + \frac{N_S}{4}M_{TD}, \quad (2.51)$$

дисперсія

$$D_{TDS} = 2D_{PD} + \frac{N_S}{4}D_{TD}. \quad (2.52)$$

Тривалість роботи стійлової установки при $K_S = N_S - 3$, визначається виразом

$$T_{DS} = t_{P1} + t_{P2} + t_{P3} + t_{P4} - t_{PN} - t_{PN-1} - t_{PN-2} + \sum_{i=4}^{N_S} t_{TDi}, \quad i = 4, 8, 12 \dots N_S, \quad (2.53)$$

математичне очікування

$$M_{TDS} = M_{PD} + \frac{N_S}{4}M_{TD}, \quad (2.54)$$

дисперсія

$$D_{TDS} = D_{PD} + \frac{N_S}{4}D_{TD}. \quad (2.55)$$

З аналізу виразів (2.29–2.55) випливає, що математичне очікування та дисперсію тривалості роботи стійлової доїльної установки можна представити у загальному вигляді

$$M_{TDS} = R_S M_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} M_{TD}, \quad (2.56)$$

та

$$D_{TDS} = R_S D_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} D_{TD}, \quad (2.57)$$

де R_S – коефіцієнт, який залежить від кількості доїльних апаратів і кількості тварин та визначається виразом

$$R_S = \begin{cases} Z_S, \left\{ \frac{K_S}{Z_S} \right\} = 0 \\ Z_S \left\{ \frac{K_S}{Z_S} \right\}, \left\{ \frac{K_S}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.58)$$

Математичне очікування часу підготовки тварини до доїння визначається виразом (2.2), а дисперсія часу підготовки тварини до доїння – виразом (2.3). Математичне очікування часу некерованого доїння тварини з використанням доїльного апарата без функції керування процесом доїння визначається виразом (2.24), а дисперсія – виразом (2.25). Підставивши (2.2) та (2.24) в (2.56) отримуємо вираз для математичного очікування тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння.

$$M_{TDSN} = R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} m_{DN} (l_{DN} + 1). \quad (2.59)$$

Підставивши (2.3) та (2.25) в (2.57) отримуємо вираз для дисперсії тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння.

$$D_{TDSN} = 2R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} m_{DN}^2 (l_{DN} + 1). \quad (2.60)$$

Математичне очікування часу керованого доїння тварини з використанням доїльного апарата з функцією керування процесом доїння визначається виразом (2.26), а дисперсія – виразом (2.27). Підставивши (2.2) та (2.26) в (2.56) отримуємо вираз для математичного очікування тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

$$M_{TDSC} = R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} (t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1)). \quad (2.61)$$

Підставивши (2.3) та (2.27) в (2.57) отримуємо вираз для дисперсії тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

$$D_{TDSC} = 2R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.62)$$

Таким чином, вирази (2.28), (2.56), (2.57), (2.58) описують узагальнену статистичну модель тривалості роботи стійлової доїльної установки, вирази (2.28), (2.59), (2.60), (2.58) описують статистичну модель тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (2.28), (2.61), (2.62), (2.58) – статистичну модель тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння. Закон розподілу тривалості роботи стійлової доїльної установки в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [117].

У експериментальних дослідженнях на стійловій доїльній установці використовувалися доїльні апарати УДМ.05.000 виробництва ТДВ «Брацлав» з механічним попарним пульсатором без функції керування процесом доїння та експериментальні зразки доїльного апарата з функцією керування процесом доїння, які обладнані електромагнітним попарним пульсатором і в яких $t_S=15$ с, $t_{FND}=30$ с, $t_M=30$. Дослідження проводилися при використанні двох та трьох доїльних апаратів з сорока восьми тваринами у доїльній групі.

Результати проведених експериментальних досліджень такі: при використанні двох доїльних апаратів без функції керування процесом доїння $M_{TDSN} = 7628$ с, $D_{TDSN} = 132401$ с², при використанні трьох доїльних апаратів без функції керування процесом доїння $M_{TDSN} = 4898$ с, $D_{TDSN} = 85628$ с², при використанні двох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння $M_{TDSC} = 7635$ с, $D_{TDSC} = 86884$ с², при використанні трьох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння $M_{TDSC} = 4852$ с, $D_{TDSC} = 55334$ с².

Теоретичний розрахунок вищевказаних параметрів проводився на основі таких експериментальних параметрів: $M_{PD} = 32$ с, $D_{PD} = 64$ с², для доїльних апаратів без функції керування процесом доїння $M_{ND} = 338$ с, $D_{ND} = 5814$ с², для доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння $M_{CD} = 328$ с, $D_{CD} = 3827$ с². Результати проведених теоретичних розрахунків такі: при використанні двох доїльних апаратів без функції керування процесом доїння $M_{TDSN} = 8176$ с, $D_{TDSN} = 139664$ с², при використанні трьох доїльних апаратів без функції керування процесом доїння $M_{TDSN} = 5504$ с, $D_{TDSN} = 93216$ с², при використанні двох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння $M_{TDSC} = 7888$ с, $D_{TDSC} = 91352$ с², при використанні трьох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння $M_{TDSC} = 5280$ с, $D_{TDSC} = 61008$ с². Як видно з порівняння експериментальних та теоретичних даних, розбіжність між ними не перевищує 12 %.

2.3 Статистичні моделі роботи групових доїльних установок

До цього часу найбільш розповсюдженими груповими доїльними установками є установки «Ялинка» та «Паралель». Алгоритм роботи цих установок повністю збігається, різниця полягає в різному розта-

шуванні тварин. На установці «Паралель» тварини розташовані паралельно в доїльних станках та перпендикулярно робочій зоні дояра, на установці «Ялинка» – паралельно у доїльних станках та під певним кутом до робочої зони дояра. На рис. 2.11 наведено циклограму роботи доїльних установок «Ялинка» та «Паралель», яка пояснює алгоритм їх роботи [28, 136–139].

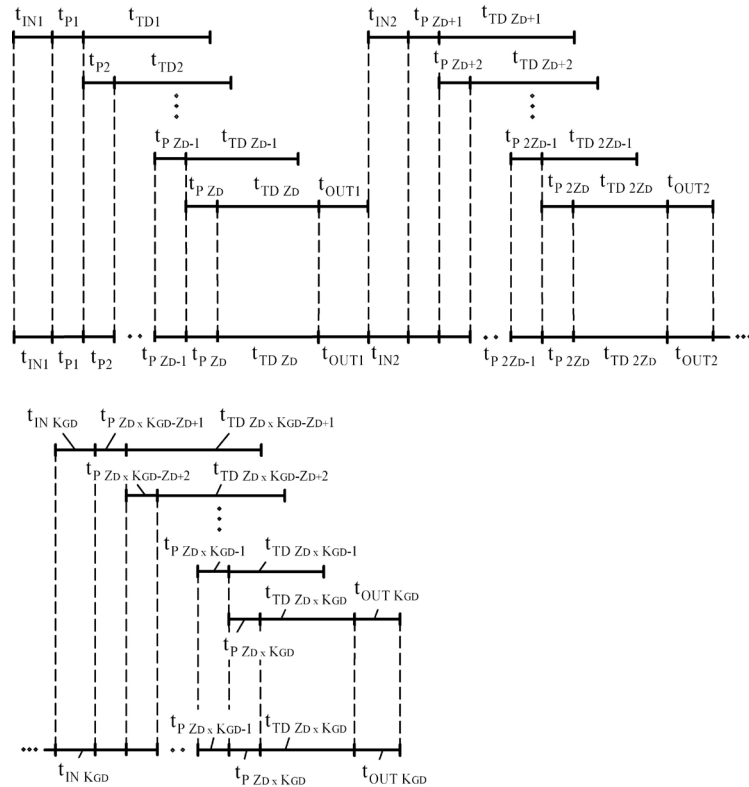


Рисунок 2.11 – Циклограма роботи групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель»

Доїльні станки, які входять до складу доїльної установки, знаходяться по обидві сторони робочої зони доярів. Кожну сторону обслуговує один дояр, кількість станків, які обслуговуються одним доярем дорівняє Z_D . Розглянемо роботу однієї сторони робочої зони, тому що з обох сторін технологічні операції виконуються одночасно і аналогічно. Протягом часу t_{INi} в доїльні станки однієї робочої зони входить Z_D тварин. Після цього дояр готує першу тварину до доїння протягом часу t_{Pi} , далі починається процес її доїння протягом часу t_{TDi} , а дояр переходить до наступної тварини і виконує аналогічні операції. Після того, як закінчиться доїння усіх тварин у станках, вони виходять з установки протягом часу t_{OUTi} . Далі виконується доїння наступної гру-

пи тварин. Цей процес продовжується до тих пір, поки не буде завершено доїння усіх тварин в стаді. Як впливає з циклограми, тривалість доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D визначається виразом [140]

$$T_{Gi} = t_{INi} + t_{OUTi} + \sum_{j=1}^{Z_D} t_{Pj} + t_{TDi}. \quad (2.63)$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D . Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження групи тварин на установку та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварин з установки розглянуті у [123]. Ці характеристики залежать від кількості доїльних станків, які обслуговує один дояр Z_D , кількості тварин, типу доїльної установки, способу входу тварин, способу виходу тварин, конструкції проходів та конструкції вхідних і вихідних воріт. Вони визначаються як величини прямо пропорційні емпіричним коефіцієнтам, які залежать від вищевказаних параметрів, та кількості доїльних станків Z_D . Виходячи з цього, математичне очікування M_{Gi} та дисперсія D_{Gi} тривалості доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D визначається виразами

$$M_{Gi} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_D M_{PD} + M_{TD}; \quad (2.64)$$

$$D_{Gi} = D_{IN} + D_{OUT} + Z_D D_{PD} + D_{TD}. \quad (2.65)$$

На доїльних установках типу «Ялинка» та «Паралель» можливе використання двох типів доїльних апаратів: з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. Математичне очікування та дисперсія часу підготовки тварини до доїння визначаються відповідно виразами (2.2) та (2.3). Математичне очікування та дисперсія часу керованого доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається відповідно виразами (2.15) та (2.16).

Підставивши (2.15) та (2.2) в (2.64) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння

$$M_{GKi} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_D k_{PD} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1). \quad (2.66)$$

Підставивши (2.16) та (2.3) в (2.65) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння

$$D_{GKi} = D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1). \quad (2.67)$$

При використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, математичне очікування часу некерованого доїння визначається виразом (2.5), а дисперсія часу некерованого доїння виразом (2.6). Підставивши (2.5) та (2.2) в (2.64) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості доїння i -ї групи з Z_D тварин при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння

$$M_{Gni} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_D k_{PD} + m_{DN} (l_{DN} + 1). \quad (2.68)$$

Підставивши (2.6) та (2.3) в (2.65) отримуємо вираз для дисперсії тривалості доїння i -ї групи тварин кількістю Z_D при використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння

$$D_{Gni} = D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1). \quad (2.69)$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Ялинка» або «Паралель» при використанні обох типів доїльних апаратів. При парній кількості тварин в стаді обидва дояри виконають видоювання однакової кількості тварин, при непарній кількості тварин одним з доярів буде видоєно на одну тварину більше. Відповідно, загальна тривалість доїння на цій стороні буде більша, для оцінки тривалості роботи всієї установки розглянемо саме цей варіант. Для цього знайдемо максимальну кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється одним доярем, за умови, що потоки тварин рівномірно розподілені між їх робочими місцями.

$$K_V = \begin{cases} \left\{ \frac{K_T}{2}, \left\{ \frac{K_T}{2} \right\} \right\} = 0 \\ \left\{ \frac{K_T + 1}{2}, \left\{ \frac{K_T}{2} \right\} \right\} \neq 0 \end{cases}, \quad (2.70)$$

де K_T – загальна кількість тварин в стаді.

Кількість групових доїнь по Z_D тварин визначається виразом

$$K_{GD} = \left[\frac{K_V}{Z_D} \right]. \quad (2.71)$$

Кількість тварин в останній групі, яка буде неповною якщо, K_V не кратне Z_D , визначається виразом

$$K_{NGD} = Z_D \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\}. \quad (2.72)$$

Тоді математичне очікування тривалості доїння стада з K_T тварин за допомогою доїльної установки типу «Паралель» або «Ялинка» з Z_D доїльних станків з однієї сторони при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{TDGC} = K_{GD} (M_{IN} + M_{OUT} + Z_D k_{PD} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1)) + M_{INO} + M_{OUTO} + K_{NGD} k_{PD} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1), \quad (2.73)$$

де M_{INO} , M_{OUTO} – відповідно математичне очікування часу входу та виходу останньої неповної групи тварин.

Дисперсія тривалості роботи групової установки у цьому випадку буде визначатися виразом

$$D_{TDGC} = K_{GD} (D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1)) + D_{INO} + D_{OUTO} + 2K_{NGD} k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1), \quad (2.74)$$

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

Математичне очікування тривалості доїння стада з K_T тварин за допомогою доїльної установки типу «Паралель» або «Ялинка» з Z_D доїльних станків з однієї сторони при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{TDGN} = K_{GD} (M_{IN} + M_{OUT} + Z_D k_{PD} + m_{DN} (l_{DN} + 1)) + M_{INO} + M_{OUTO} + K_{NGD} k_{PD} + m_{DN} (l_{DN} + 1). \quad (2.75)$$

Дисперсія тривалості роботи групової установки

$$D_{TDGN} = K_{GD} (D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1)) + D_{INO} + D_{OUTO} + 2K_{NGD} k_{PD} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1), \quad (2.76)$$

Таким чином, вирази (2.73), (2.74) описують статистичну модель роботи групової доїльної установки типу «Ялинка» або «Паралель» при доїнні стада з K_T тварин при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння, а вирази (2.75), (2.76) – при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння. Закон розподілу тривалості машинного доїння на доїльних установках типу «Ялинка» та «Паралель» в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [117].

Експериментальні дослідження тривалості роботи групової доїльної установки «Ялинка» проводилися в ДП «Артеміда», м. Калинівка,

Калинівського району Вінницької області (Україна), досліджувана доїльна установка має структуру 2×8 (одна доїльна яма, два дояри, вісім доїльних станків на кожного дояра). Доїльні станки обладнані БЗПД «Bigmilk» виробництва ТДВ «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння. Досліджуване стадо складалося з 372 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи установки визначалися за вибіркою з 450 спостережень. В результаті досліджень встановлено, що експериментальне математичне очікування тривалості роботи установки $M_{TDGC} = 17448$ с, а дисперсія $D_{TDGC} = 126520$ с².

Теоретичний розрахунок M_{TDGC} та D_{TDGC} проводився на основі таких параметрів: $M_{PD} = 28$ с, $D_{PD} = 56$ с², математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння $M_{CD} = 326$ с, дисперсія $D_{CD} = 3801$ с². Статистичні характеристики тривалості входу та виходу тварин $M_{IN} = 96$ с, $M_{OUT} = 32$ с, $D_{IN} = 310$ с², $D_{OUT} = 92$ с², $M_{INO} = 24$ с, $M_{OUTO} = 8$ с, $D_{INO} = 76$ с², $D_{OUTO} = 24$ с², кількість доїльних станків на одного дояра $Z_D = 8$. В результаті теоретичного розрахунку $M_{TDGC} = 16008$ с, $D_{TDGC} = 110986$ с². Виходячи з порівняння експериментальних та теоретичних даних, розбіжність між ними не більше 13 %.

2.4 Статистичні моделі роботи доїльних установок з прохідними станками

2.4.1 Статистичні моделі роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

Доїльні установки з прохідними станками забезпечують індивідуальний вхід та вихід кожної тварини. У вищевказаних установках тварини розташовані вздовж траншеї, в якій знаходиться дояр. Таке розташування тварин забезпечує практично вільний доступ персоналу до будь-якої її зони. Це дає можливість, окрім доїння, проводити ветеринарні, санітарні, та інші необхідні зоотехнічні операції [28, 136–139]. Розглянемо циклограму роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, яку наведено на рис. 2.12.

На доїльній установці з паралельно-прохідними станками кожний дояр обслуговує два доїльних станки, які знаходяться по обидві сторони його робочої зони [28, 141]. В станки тварини входять протягом часу t_{INi} , після чого дояр готує першу тварину до доїння протягом часу t_{Pi} , вдягає їй доїльний апарат і переходить до роботи з іншою тва-

риною. Доїння тварини відбувається протягом часу t_{TDi} , після чого вона виходить з станка протягом часу t_{OUTi} , а на її місце входить наступна тварина.

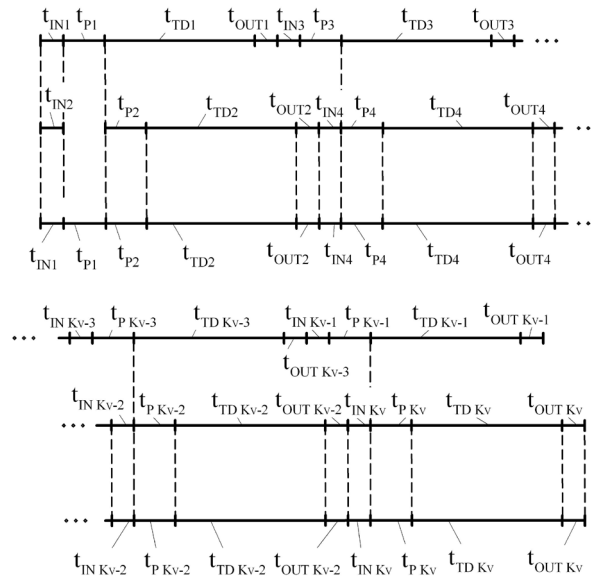


Рисунок 2.12 – Циклограма роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

Позначимо через N_D кількість доярів, які працюють на доїльній установці з паралельно-прохідними станками. Тоді максимальна кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється одним доярем, при умові, що потоки тварин рівномірно розподілені між робочими місцями, визначається виразом

$$K_V = \begin{cases} \frac{K_T}{N_D}, \left\{ \frac{K_T}{N_D} \right\} = 0 \\ 1 + \left[\frac{K_T}{N_D} \right], \left\{ \frac{K_T}{N_D} \right\} \neq 0 \end{cases} \quad (2.77)$$

Внаслідок того, що всі дояри працюють паралельно, тривалість роботи доїльної установки при видоюванні стада з K_T тварин буде дорівнювати тривалості роботи одного дояра при видоюванні K_V тварин.

Як випливає з аналізу наведеної на рис. 2.12 циклограми, при парній кількості тварин K_V , що обслуговуються одним доярем, тривалість роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, визначається виразом

$$T_{DPP} = t_{IN1} + t_{P1} + t_{P2} + t_{D2} + t_{OUT2} + \sum_{i=4}^{K_V} (t_{INi} + t_{Pi} + t_{Di} + t_{OUTi}), \quad i = 4, 6, 8 \dots K_V. \quad (2.78)$$

При непарній кількості тварин K_V тривалість роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, визначається виразом

$$T_{DPP} = \sum_{i=4}^{K_V} (t_{INi} + t_{Pi} + t_{Di} + t_{OUTi}), \quad i = 1, 3, 5 \dots K_V. \quad (2.79)$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками. Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження тварини в доїльний станок та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварини з доїльного станка розглянуті у [124]. Ці характеристики залежать від типу доїльної установки, способу входу тварин, способу виходу тварин, конструкції проходів та конструкції вхідних і вихідних воріт.

Змінивши в виразах (2.78) та (2.79) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення, отримуємо вираз, який визначає математичне очікування M_{DPP} тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

$$M_{DPP} = \begin{cases} \frac{K_V}{2} (M_{IN} + M_{OUT} + M_{TD}) + \left(\frac{K_V}{2} + 1 \right) M_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{2} \right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2} (M_{IN} + M_{PD} + M_{OUT} + M_{TD}), \left\{ \frac{K_V}{2} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.80)$$

Змінивши в виразах (2.78) та (2.79) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає дисперсію D_{DPP} тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

$$D_{DPP} = \begin{cases} \frac{K_V}{2} (D_{IN} + D_{OUT} + D_{TD}) + \left(\frac{K_V}{2} + 1 \right) D_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{2} \right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2} (D_{IN} + D_{PD} + D_{OUT} + D_{TD}), \left\{ \frac{K_V}{2} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.81)$$

На доїльних установках з паралельно-прохідними станками можливе використання двох типів доїльних апаратів: з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. Математичне очікування та дисперсія часу підготовки тварини до доїння визначаються відповідно виразами (2.2) та (2.3). Математичне очіку-

вання та дисперсія часу керованого доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається відповідно виразами (2.15) та (2.16). Підставивши (2.15) та (2.2) в (2.80) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{DPPC} = \begin{cases} \frac{K_V}{2}(M_{IN} + M_{OUT} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK}(l_{DK} + 1)) + \left(\frac{K_V}{2} + 1\right)k_{PD}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2}(M_{IN} + k_{PD} + M_{OUT} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK}(l_{DK} + 1)), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.82)$$

Підставивши (2.16) та (2.3) в (2.81) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$D_{DPPC} = \begin{cases} \frac{K_V}{2}(D_{IN} + D_{OUT} + m_{DK}^2(l_{DK} + 1)) + 2k_{PD}\left(\frac{K_V}{2} + 1\right), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2}(D_{IN} + 2k_{PD} + D_{OUT} + m_{DK}^2(l_{DK} + 1)), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.83)$$

При використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, математичне очікування часу некерованого доїння визначається виразом (2.5), а дисперсія часу некерованого доїння виразом (2.6). Підставивши (2.5) та (2.2) в (2.80) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$M_{DPPN} = \begin{cases} \frac{K_V}{2}(M_{IN} + M_{OUT} + m_{DN}(l_{DN} + 1)) + \left(\frac{K_V}{2} + 1\right)k_{PD}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2}(M_{IN} + k_{PD} + M_{OUT} + m_{DN}(l_{DN} + 1)), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.84)$$

Підставивши (2.6) та (2.3) в (2.81) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$D_{DPPN} = \begin{cases} \frac{K_V}{2}(D_{IN} + D_{OUT} + m_{DN}^2(l_{DN} + 1)) + 2k_{PD}\left(\frac{K_V}{2} + 1\right), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ \frac{K_V}{2}(D_{IN} + 2k_{PD} + D_{OUT} + m_{DN}^2(l_{DN} + 1)), \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.85)$$

Таким чином, вирази (2.82) та (2.83) описують статистичну модель роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння, а вирази (2.84) та (2.85) – при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння.

2.4.2 Статистичні моделі роботи установки «Тандем»

Доїльна установка «Тандем» [28, 136–139], це установка з стаціонарними доїльними станками, тварини в яких розташовані вздовж двох сторін траншеї, в якій знаходяться два дояра, по одному на кожному стороні. Кожний доїльний станок обладнаний вхідними та вихідними воротами, що забезпечує можливість індивідуального входу та виходу тварин. Перше входження тварин у доїльні станки здійснюється групою, кількість тварин у групі дорівнює кількості станків. Після входження дояр готує першу тварину до доїння, вдягає їй доїльний апарат та переходить до наступної тварини, потім до третьої і т. д. Після закінчення доїння кожна тварина окремо здійснює вихід з установки і на її місце входить наступна тварина. Аналогічні дії проводяться з кожною твариною до закінчення доїння стада. Розглянемо циклограму роботи доїльної установки «Тандем», яку наведено на рис. 2.13.

Для цієї доїльної установки, якщо у стаді K_T тварин, максимальна кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється одним доярем, при умові, що потоки тварин рівномірно розподілені між двома доярами, визначається виразом

$$K_V = \begin{cases} \left[\frac{K_T}{2}\right] + 1, \left\{\frac{K_T}{2}\right\} \neq 0; \\ \frac{K_T}{2}, \left\{\frac{K_T}{2}\right\} = 0. \end{cases} \quad (2.86)$$

З аналізу наведеної на рис. 2.13 циклограми випливає, що при K_V кратному кількості доїльних станків Z_D , що обслуговуються одним доярем, тривалість роботи установки «Тандем» визначається виразом [141]

$$T_{DT} = t_{IN1} + \sum_{i=1}^{Z_D} t_{Pi} + t_{DZ_D} + t_{OUTZ_D} + \sum_{i=2}^{K_V/Z_D} (t_{INiZ_D} + t_{PiZ_D} + t_{DiZ_D} + t_{OUTiZ_D}). \quad (2.87)$$

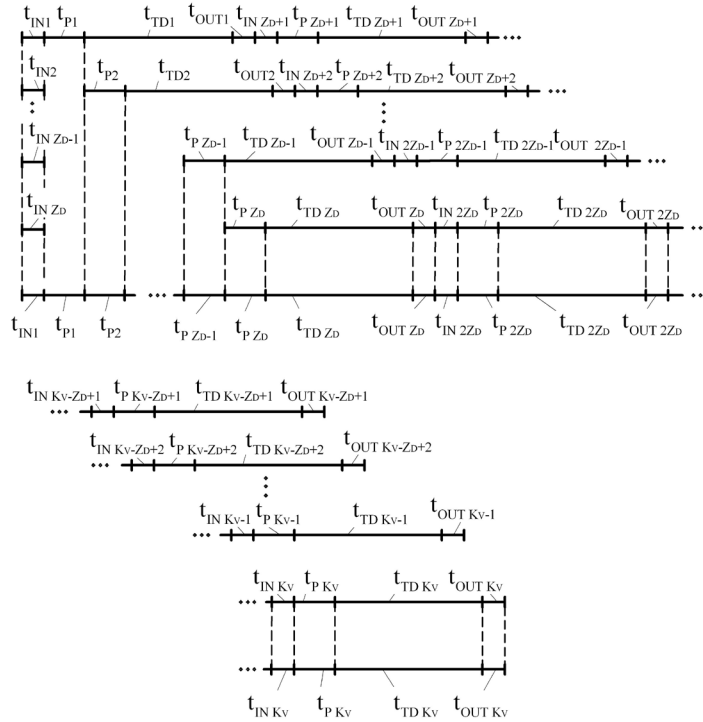


Рисунок 2.13 – Циклограма роботи доїльної установки «Тандем»

Якщо K_V не кратне Z_D , то тривалість роботи доїльної установки «Тандем», у цьому випадку, визначається виразом

$$\begin{aligned}
 T_{DT} = & t_{IN1} + \sum_{i=1}^{Z_D} t_{Pi} + t_{D Z_D} + t_{OUT Z_D} + \sum_{i=2}^{\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] + Z_D} (t_{IN i Z_D} + t_{P i Z_D} + t_{D i Z_D} + t_{OUT i Z_D}) - \\
 & - \sum_{i=1}^{\left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\} Z_D} t_{Pi}.
 \end{aligned} \tag{2.88}$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем». Тому що дояри працюють одночасно, тривалість роботи однієї сторони установки дорівнює тривалості роботи всієї установки. Змінивши в виразах (2.87) та (2.88) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем»

$$\begin{aligned}
 M_{DT} = & \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D}\right)(M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_D - 1\right)M_{PD}, \left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] + Z_D\right)(M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + M_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\}\right)\right), \left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\} \neq 0. \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.89}$$

Замінивши в виразах (2.87) та (2.88) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши відповідні перетворення, отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем»

$$D_{DT} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D} \right) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_D - 1 \right) D_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] + Z_D \right) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + D_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.90)$$

На доїльних установках типу «Тандем» можливе використання доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження тварини в доїльний станок та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварини з доїльного станка розглянуті у [124]. Математичне очікування та дисперсія часу підготовки тварини до доїння визначаються відповідно виразами (2.2) та (2.3). При використанні доїльного апарата без функції керування процесом доїння, математичне очікування часу некерованого доїння визначається виразом (2.5), а дисперсія часу некерованого доїння виразом (2.6).

Підставивши (2.2) та (2.5) в (2.89) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$M_{DTN} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D} \right) (M_{IN} + m_{DN} (l_{DN} + 1) + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_D - 1 \right) k_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] + Z_D \right) (M_{IN} + m_{DN} (l_{DN} + 1) + M_{OUT}) + k_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.91)$$

Підставивши (2.3) та (2.6) в (2.90) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$D_{DTN} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D} \right) (D_{IN} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD} \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_S - 1 \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] + Z_D \right) (D_{IN} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.92)$$

При використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння математичне очікування та дисперсія часу керованого доїння однієї тварини визначається відповідно виразами (2.15) та (2.16).

Підставивши (2.2) та (2.15) в (2.89), отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{DTC} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D} \right) (M_{IN} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1) + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_D - 1 \right) k_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] + Z_D \right) (M_{IN} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1) + M_{OUT}) + \\ + k_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.93)$$

Підставивши (2.3) та (2.16) в (2.90), отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$D_{DTC} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_D} \right) (D_{IN} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD} \left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_S - 1 \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} = 0; \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] + Z_D \right) (D_{IN} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1) + D_{OUT}) + \\ + 2k_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_D} \right] - 1 + Z_D \left(2 - \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_D} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (2.94)$$

Таким чином, вирази (2.91) та (2.92) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K_T тварин за допомогою доїльної установки «Тандем» при обслуговуванні одним доярем Z_D доїльних станків і при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (2.93) та (2.94) – при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

Закон розподілу тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем» в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [117].

Експериментальні дослідження тривалості роботи доїльної установки «Тандем» проводилися у приватному фермерському господарстві в селищі міського типу Красні Окни Красноокнянського району Одеської області (Україна). Досліджувана доїльна установка має структуру 2×4 , тобто на ній працюють два дояри, кожний дояр обслуговує чотири доїльних станки, відповідно $Z_D = 4$. Доїльні станки обладнані БЗПД «Bigmilk» виробництва ТДВ «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння і у яких $t_S = 15$ с, $t_{FND} = 30$ с, $t_M = 30$. Досліджуване стадо складалося з 128 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи установки визначалися за вибіркою з 420 спостережень.

Теоретичний розрахунок M_{DTC} та D_{DTC} проводився на основі наступних параметрів: $M_{PD} = 28$ с, $D_{PD} = 56$ с², математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння $M_{CD} = 326$ с, дисперсія $D_{CD} = 3801$ с². Статистичні характеристики тривалості входу та виходу тварин $M_{IN} = 24$ с, $M_{OUT} = 22$ с, $D_{IN} = 76$ с², $D_{OUT} = 70$ с². В результаті теоретичного розрахунку, математичне очікування тривалості роботи установки $M_{DTC} = 7684$ с, дисперсія тривалості роботи установки $D_{DTC} = 64216$ с². В результаті експериментальних досліджень тривалості роботи установки «Тандем» встановлено, що $M_{DTC} = 8252$ с, $D_{DTC} = 71408$ с². Як впливає з порівняння експериментальних та теоретичних даних, розбіжність між ними не перевищує 12 %, що свідчить про адекватність розробленої статистичної моделі.

2.5 Статистична модель роботи конвеєрної доїльної установки

Серед усіх відомих варіантів доїльних установок для доїльних залів, конвеєрні установки, до яких відносяться установки «Карусель» та «Юнілактор», забезпечують найвищу продуктивність при мінімізації трудомісткості технологічних операцій обслуговування тварин у доїльно-молочному відділенні ферми. Основними перевагами конвеєрних установок є мінімальна відстань переходу тварини з доїльного залу до доїльного станка, фіксовані робочі місця доярів, безперервний режим роботи, можливість зміни кутової швидкості конвеєра у відповідності з характеристиками групи тварин, просте управління потоками тварин [28, 142]. Особливістю конвеєрних доїльних установок є те, що тварини рухаються разом з доїльними станками під час доїння, а дояр залишається на одному місці.

Поточна лінія доїння тварин на основі доїльних конвеєрів за принципом дії та функціональним призначенням найбільш близька до поточних ліній машинобудівних підприємств з масовим крупносерійним виробництвом. У відповідності з існуючою класифікацією, доїльний конвеєр можна віднести до класу прямоточних однопредметних безперервно-поточних ліній з робочим конвеєром [143, 144].

Розглянемо циклограму роботи конвеєрної доїльної установки, яка наведена на рис. 2.14.

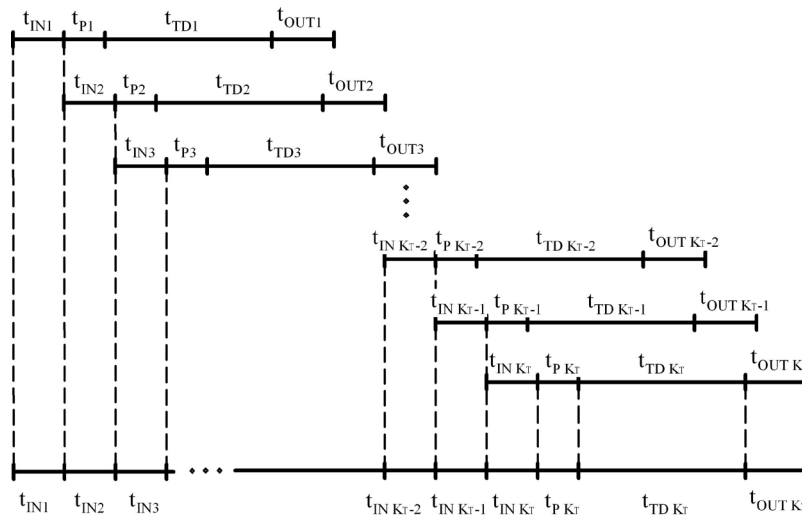


Рисунок 2.14 – Циклограма роботи конвеєрної доїльної установки

Типовий алгоритм роботи конвеєрної доїльної установки такий. Доїльна платформа обертається з постійною номінальною кутовою швидкістю ω_K . Тварини по черзі заходять на платформу і розміщуються у доїльних станках, дояр здійснює процес підготовки тварини до доїння, який має тривалість t_{p_i} , після чого вдягає доїльний апарат і починається процес доїння, тривалістю t_{TD_i} . Максимальне значення тривалості інтервалу підготовки тварини t_{p_i} регламентується технічними умовами експлуатації установки. Вихід тварин з платформи здійснюється тоді, коли платформа здійснить майже повний оберт. До цього моменту видоювання тварини повинно бути повністю закінчено. Цей процес продовжується циклічно до тих пір, поки не закінчиться видоювання усіх тварин у стаді або групі. Циклограми роботи доїльних установок «Карусель» та «Юнілактор» повністю збігаються. Відмінність між цими установками полягає в принципово різних конструкціях встановлення доїльних станків. На установці «Юнілактор» вони розташовані на окремих платформах, які на рельсах руха-

ються навколо траншеї. На установці «Карусель» усі станки знаходяться на одній платформі, яка обертається разом з ними [145].

Як впливає із аналізу циклограми [146, 147], тривалість доїння стада з K_T тварин визначається виразом

$$T_{DC} = t_{Pi} + t_{TDi} + t_{OUTi} + \sum_{i=1}^{K_T} t_{INi}. \quad (2.95)$$

Змінивши у виразі (2.95) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення, отримуємо вираз, який визначає математичне очікування M_{DC} тривалості роботи конвеєрної доїльної установки

$$M_{DC} = M_{PD} + M_{TD} + M_{OUT} + M_{IN}K_T. \quad (2.96)$$

Відповідно, змінивши у виразі (2.95) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши перетворення, отримуємо вираз, який визначає дисперсію D_{DC} тривалості роботи конвеєрної доїльної установки

$$D_{DC} = D_{PD} + D_{TD} + D_{OUT} + D_{IN}K_T. \quad (2.97)$$

Математичне очікування M_{PD} часу t_{Pi} тривалості підготовки тварини до доїння та дисперсія цього часу D_{PD} визначаються відповідно виразами (2.2) та (2.3). До цього часу на конвеєрних доїльних установках використовуються доїльні апарати тільки з функцією керування процесом доїння. При використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння математичне очікування та дисперсія часу керованого доїння однієї тварини визначається відповідно виразами (2.15) та (2.16). Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження тварини в доїльний станок та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварини з доїльного станка розглянуті у [118].

Підставивши (2.2) та (2.15) в (2.96) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{DC} = k_{PD} + t_S + t_{FND} + t_M + m_{DK} (l_{DK} + 1) + M_{OUT} + M_{IN}K_T. \quad (2.98)$$

Підставивши (2.3) та (2.16) в (2.97) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$D_{DC} = 2k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1) + D_{OUT} + D_{IN}K_T. \quad (2.99)$$

Таким чином, вирази (2.98) та (2.99) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K_T тварин, за допомогою конвеєрної доїль-

ної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння. Закон розподілу тривалості роботи конвеєрної доїльної установки можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [117].

Позначимо через Z_C кількість доїльних станків, які розташовані на доїльній платформі конвеєрної доїльної установки. Тоді кут, який відповідає розташуванню станка на доїльній платформі, визначається виразом

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{Z_C}. \quad (2.100)$$

За час підготовки тварини та її видоювання доїльна платформа повертається на кут φ_K , який визначається за виразом

$$\varphi_K = 2\pi - \varphi_0 = 2\pi \left(1 - \frac{1}{Z_C}\right). \quad (2.101)$$

Для того, щоб видоювання тварини здійснювалося не більше, ніж за один оберт доїльної платформи, час t_K повороту доїльної платформи на кут φ_K повинен задовольняти умову

$$t_K > t_{Pi} + t_{TDi}. \quad (2.102)$$

Визначення часу t_K здійснюється за виразом

$$t_K = (M_{PD} + M_{TD}) \cdot \eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD}), \quad (2.103)$$

де $\eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD})$ – постійний коефіцієнт запасу, який залежить від статистичних характеристик групи тварин та визначається експериментально.

Виходячи з цього, номінальна кутова швидкість доїльної платформи визначається з виразу

$$\omega_K = \frac{\varphi_K}{t_K} = \frac{2\pi \left(1 - \frac{1}{Z_C}\right)}{(M_{PD} + M_{TD}) \cdot \eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD})}. \quad (2.104)$$

При наявності в групі тугодійних тварин можлива ситуація, коли тривалість доїння t_{TDi} перевищить час, за який платформа буде встановлена в положення виходу тварини. У цьому випадку тварина у доїльному станку буде робити ще один оберт разом з платформою, і тривалість її знаходження у станку збільшиться в два рази. Це приведе до

порушення черги тварин, порушення безперервності роботи конвеєра, втрат часу і технологічної затримки роботи доїльної установки. Мінімізувати вплив наявності тугодійних тварин на продуктивність роботи конвеєрної доїльної установки можна шляхом впровадження регульованого приводу доїльної платформи на основі статистичних показників тривалості доїння групи тварин.

Експериментальні дослідження тривалості роботи дослідної конвеєрної доїльної установки «Карусель» проводилися у селищі міського типу Брацлав, Немирівського району Вінницької області (Україна). Досліджувана доїльна установка має 16 доїльних станків. Доїльні станки обладнані БЗПД «Bigmilk» виробництва ТДВ «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння і у яких $t_S=15$ с, $t_{FND}=30$ с, $t_M=30$. Досліджуване стадо складалося з 264 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи визначалися за вибіркою з 450 спостережень. Теоретичний розрахунок M_{DC} та D_{DC} проводився на основі таких параметрів: $M_{PD}=28$ с, $D_{PD}=56$ с², математичне очікування загального часу роботи з твариною при використанні доїльного апарата з функцією керування процесом доїння $M_{CD}=326$ с, дисперсія $D_{CD}=3801$ с². Статистичні характеристики тривалості входу та виходу тварин $M_{IN}=36$ с, $M_{OUT}=36$ с, $D_{IN}=86$ с², $D_{OUT}=86$ с², коефіцієнт $\eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD})=1.3$, $t_K=558$ с, $\omega_K=0,01$ рад/с.

В результаті теоретичного розрахунку, математичне очікування тривалості роботи установки $M_{DC}=10098$ с, дисперсія тривалості роботи установки $D_{DC}=26647$ с². В результаті експериментальних досліджень тривалості роботи установки «Гандем» встановлено, що $M_{DC}=11313$ с, $D_{DC}=30567$ с². Як слідує з порівняння експериментальних та теоретичних даних, розбіжність між ними не перевищує 15 %, що свідчить про адекватність розробленої статистичної моделі.

2.6 Висновки

1. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що часовий інтервал технологічного процесу підготовки тварин до доїння має хі-квадрат розподіл.

2. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що час некерованого доїння при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння має гамма-розподіл.

3. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що час фази керованого доїння при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїнням має гамма-розподіл.

4. Отримано аналітичні вирази, які описують статистичну модель загального часу роботи з твариною при використанні доїльного робота, доїльного апарата без функції керування процесом доїння, доїльного апарата з функцією керування процесом доїння.

5. Створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи стійлової доїльної установки, та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата.

6. Створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель», та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата.

7. Створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем», та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата.

8. Створено уточнену статистичну модель, яка встановлює функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи конвеєрної доїльної установки, та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарата.

9. Запропоновані моделі створено на основі нового підходу до оцінки статистичних характеристик часу підготовки тварини та часу видоювання тварини. Це дозволить підвищити точність визначення продуктивності доїльної установки при її проектуванні або модернізації, дозволить розробити методику проектування ІВС ПБТСД, ІВС ДМВТФ та САУТФ.

3 РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД

3.1 Вплив помилок ідентифікації на результати вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні групових доїльних установок

Розглянемо вплив помилок ідентифікації рухомих тварин при використанні групових доїльних установок на результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів тварин, які є складовою частиною параметрів БТСД [101]. Після закінчення процесу доїння на груповій доїльній установці в усіх станках сторони, результати вимірювання та контролю параметрів окремих тварин групи можна представити у вигляді набору векторів:

$$\begin{aligned} A_1 &= (P_{11} \quad P_{12} \quad P_{13} \quad \dots \quad P_{1I} \quad 1 \quad N_{1T} \quad N_{1S}); \\ A_2 &= (P_{21} \quad P_{22} \quad P_{23} \quad \dots \quad P_{2I} \quad 2 \quad N_{2T} \quad N_{2S}); \\ &\dots \\ A_i &= (P_{i1} \quad P_{i2} \quad P_{i3} \quad \dots \quad P_{iI} \quad i \quad N_{iT} \quad N_{iS}); \\ &\dots \\ A_{Z_D} &= (P_{Z_D1} \quad P_{Z_D2} \quad P_{Z_D3} \quad \dots \quad P_{Z_DI} \quad Z_D \quad N_{Z_DT} \quad N_{Z_DS}), \end{aligned} \tag{3.1}$$

де I – кількість вимірюваних або контрольованих зоотехнічних параметрів тварин; i – порядковий номер доїльного станка, у якому знаходиться тварина; $P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{iI}$ – результати контролю або вимірювання зоотехнічних параметрів тварини, яка знаходиться у i -му доїльному станку; N_{iT} – код транспондера тварини, яка знаходиться у i -тому доїльному станку; N_{iS} – стадний номер тварини, яка знаходиться у i -му доїльному станку.

Кількість цих векторів дорівнює кількості Z_D доїльних станків на стороні установки, а кількість координат векторів дорівнює $I+3$. Координати векторів з номерами від 1 до I це результати контролю або вимірювання зоотехнічних параметрів тварин. Координата з номером $I+1$ завжди дорівнює i та є номером доїльного станка, у якому знаходилася тварина, координати з номерами $I+2$ та $I+3$ є відповідно кодом транспондера та стадним номером тварини.

Результат вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів групи тварин можна представити у вигляді матриці, яка визначається виразом

$$G_R = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_{Z_D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1I} & 1 & N_{1T} & N_{1S} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2I} & 2 & N_{2T} & N_{2S} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{Z_D 1} & P_{Z_D 2} & P_{Z_D 3} & \dots & P_{Z_D I} & Z_D & N_{Z_D T} & N_{Z_D S} \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

де R – порядковий номер групи тварин.

Матриця (3.2) складається з результатів вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів R -ї групи з Z_D тварин; номерів доїльних станків, у яких відбувалося доїння; кодів транспондерів тварин та їх стадних номерів.

На рис. 3.1 наведено схему, яка пояснює вплив помилки ідентифікації рухомих тварин на метрологічні характеристики ІВС ПБТСД при використанні групових доїльних установок [101].

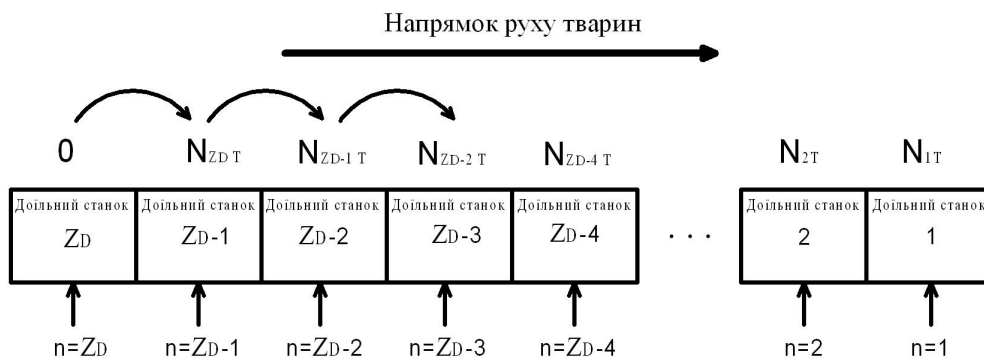


Рисунок 3.1 – Вплив помилки ідентифікації на результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів тварин при використанні групових доїльних установок

За відсутності помилки ідентифікації, тварина з номером $n=1$ у черзі, яка має транспондер з кодом N_{1T} , буде знаходитись у доїльному станку 1, тварина з номером $n=2$, яка має транспондер з кодом N_{2T} , буде знаходитись у доїльному станку 2, і. т. д. У цьому випадку не буде втрат інформації про результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів тварин у групі.

Якщо, наприклад, при проходженні тварини з номером $n=Z_D-3$ через робочу зону ЗТ транспондер не буде ідентифікований, сервер не зможе встановити присутність цієї тварини у доїльному станку Z_D-3 . В результаті, наступна тварина у черзі, з номером $n=Z_D-2$ та кодом транспондера $N_{Z_D-2 T}$, буде визначена як така, що знаходиться у доїльному станку Z_D-3 . Відповідно, кожна наступна тварина з номером в черзі більшим ніж $n=Z_D-2$, буде визначена як така, що знаходиться у

доїльному станку $n-1$, хоча в дійсності вона знаходиться у доїльному станку n . Остання тварина групи з номером $n = Z_D$ в черзі буде знаходитись у доїльному станку Z_D , але значення коду її транспондера та стадний номер будуть визначені сервером як нульові. Алгоритмічно, у цьому випадку, неможливо визначити номер доїльного станка, у якому знаходиться не ідентифікована тварина. Виходячи з цього, при наявності однієї помилки ідентифікації у групі, результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів тварин усієї групи є недостовірними. Виявлення конкретної тварини, помилка ідентифікації якої зумовила втрату даних усієї групи, є неможливим.

Шляхом аналізу матриці, що описується виразом (3.2), можна виявити групу тварин, результати вимірювання зоотехнічних параметрів якої не є достовірними. Якщо група повна, тобто кількість тварин дорівнює кількості доїльних станків, то при наявності помилки ідентифікації, при якій код транспондера взагалі не визначився, буде справедливим співвідношення

$$G_{R Z_D I+2} \vee G_{R Z_D I+3} = N_{Z_D T} \vee N_{Z_D S} = 0, \quad (3.3)$$

де $G_{R Z_D I+2}$, $G_{R Z_D I+3}$ – елементи матриці G_R , які знаходяться у рядку з номером Z_D і стовпцях з номерами $I+2$ і $I+3$, та відповідно є кодом транспондера $N_{Z_D T}$ та стадним номером тварини $N_{Z_D S}$.

Таким чином, виконання співвідношення (3.3) є ознакою того, що результати вимірювання зоотехнічних параметрів R -ї повної групи тварин є недостовірними.

В процесі доїння, внаслідок певних причин, іноді можуть виникнути неповні групи тварин, тобто коли кількість тварин менша ніж кількість доїльних станків. Як правило, такою групою є остання група поточного доїння, якщо кількість тварин, доїння яких здійснюється на одній стороні, не кратна кількості доїльних станків. У цьому випадку матриця даних, яка визначається виразом (3.2), буде мати вигляд

$$G_R = \sum_{i=1}^{Z_D} A_i = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1I} & 1 & N_{1T} & N_{1S} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2I} & 2 & N_{2T} & N_{2S} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{J1} & P_{J2} & P_{J3} & \dots & P_{JI} & J & N_{JT} & N_{JS} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

де J – кількість тварин у неповній групі.

Ознакою неповної групи є виконання співвідношення

$$\sum_{k=J+1}^{Z_D} \sum_{l=1}^{I+3} G_{R k l} = 0. \quad (3.5)$$

Для неповної групи тварин, ознакою того, що результати вимірювання зоотехнічних параметрів цієї групи є недостовірними, є виконання співвідношення

$$G_{R J I+2} \vee G_{R J I+3} = N_{JT} \vee N_{JS} = 0. \quad (3.6)$$

Можливий також випадок, коли код транспондера ідентифікувався не вірно, але був переданий на сервер. Якщо помилковий код збігається з кодом транспондера іншої тварини стада, то результати вимірювання зоотехнічних параметрів будуть віднесені до цієї тварини. У випадку, якщо помилковий код не збігається з кодом транспондера іншої тварини, результати вимірювання зоотехнічних параметрів будуть віднесені до умовної тварини. В обох розглянутих випадках, втрачається інформація тільки про одну тварину, інформація про інших тварин у групі залишається достовірною.

Визначимо імовірність втрати даних про результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів групи з Z_D тварин при виникненні помилки ідентифікації. Позначимо через r кількість тварин, що не ідентифікувалися у групі з Z_D тварин. Імовірність того, що на одній стороні доїльної установки виявиться r не ідентифікованих тварин, визначається виразом [148]

$$p(r) = \frac{C_d^r}{C_{K_V}^{Z_D}} C_{K_V-d}^{Z_D-r}, \quad (3.7)$$

де

$$C_d^r = \frac{d!}{r!(d-r)!}; \quad (3.8)$$

$$C_{K_V}^{Z_D} = \frac{K_V!}{Z_D!(K_V - Z_D)!}; \quad (3.9)$$

$$C_{K_V-d}^{Z_D-r} = \frac{(K_V - d)!}{(Z_D - r)!(K_V - d - Z_D + r)!}, \quad (3.10)$$

d – середня кількість не ідентифікованих тварин із K_V тварин стада, що обслуговуються одним доярем на одній стороні установки.

У відповідності з [98], на групових доїльних установках, при використанні ЗТ великої відстані, не відбувається ідентифікація в середньому 3 % рухомих тварин. На рис. 3.2 наведено графік імовірнісного ряду функції (3.7) для типового проекту групової доїльної установки «Ялинка» 2×8, яка має дві сторони, вісім доїльних станків з кожної сторони, за допомогою якої обслуговується стадо з 600 голів, тобто, для наведеного графіка, $K_V = 300$, $d = 9$, $Z_D = 8$. Як впливає з графіка на рис. 3.2, імовірність того, що $r = 0$ (усі тварини групи ідентифіковані), дорівняє 0,74. Імовірність того, що як мінімум одна тварина з групи не буде ідентифікована, і внаслідок цього будуть втрачені усі результати вимірювання і контролю зоотехнічних параметрів тварин цієї групи, визначається виразом

$$p_G = 1 - p(0). \quad (3.11)$$

Для типової доїльної установки, що розглядається, значення цієї імовірності дорівняє 0,26. Таким чином, імовірність втрати даних про групу тварин на одній стороні групової доїльної установки при існуючих способах побудови систем ідентифікації у складі ІВС ПБТСД є високою. При використанні селекційних воріт, на конвеєрних доїльних установках з ідентифікацією рухомих тварин та на автоматичних вагових платформах з ідентифікацією рухомих тварин, внаслідок виникнення помилок ідентифікації втрачається інформація тільки про не ідентифіковану тварину, що не призводить до таких наслідків, як на групових доїльних установках.

3.2 Система радіочастотної ідентифікації рухомих тварин з двоконтурною ортогональною антеною

Сучасні САУТФ передбачають широке використання різноманітних засобів ідентифікації тварин, які є важливою складовою ІВС ПБТСД. Якщо за допомогою ІВС ПБТСД здійснюється вимірювання та контроль активності та румінації тварин, то у складі системи іден-

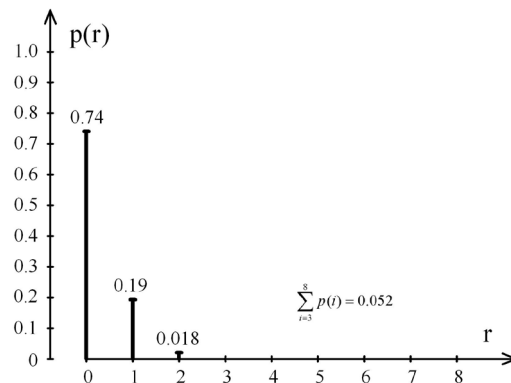


Рисунок 3.2 – Імовірнісний ряд помилки ідентифікації r тварин, які входять у групу з Z_D тварин, для типової групової доїльної установки «Ялинка» 2×8

тифікації можуть бути використані тільки активні транспондери з оптичним або радіоінтерфейсом та з інтегрованими до транспондера відповідними ЗВ. Такі транспондери мають високу вартість і потребують періодичної заміни їх джерела живлення, що ускладнює експлуатацію доїльної установки. ІВС ПБТСД з системами ідентифікації на основі активних транспондерів з інтегрованими ЗВ активності та румінації використовуються на доїльних установках найвищої цінової категорії, частка яких на світовому ринку невелика. Найбільш розповсюдженими в теперішній час є системи радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами. Можливість радіочастотної ідентифікації рухомих та нерухомих тварин зумовлена радіопрозорістю неметалевих перешкод (шкіра і тканини тварини, вода і пластикові деталі). Але, внаслідок певних технічних та біологічних факторів, кількість помилок ідентифікації у таких системах досить велика. Виходячи з цього, подальше вдосконалення систем радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами є актуальним завданням. На рис. 3.3 наведено узагальнену структурну схему системи радіочастотної ідентифікації на основі пасивних транспондерів. Будь-яка система радіочастотної ідентифікації має у своєму складі три основних складових частини: ЗТ (який ще називають рідером), один або декілька транспондерів (які ще називають ідентифікаційними мітками або тегами), радіоінтерфейс для забезпечення обміну даними між ЗТ та транспондером. До складу ЗТ входить мікроконтролер з відповідним програмним забезпеченням, та трансивер, на основі якого реалізується апаратне забезпечення радіоінтерфейсу. Мікроконтролер здійснює передачу даних про результат ідентифікації до зовнішніх пристроїв, забезпечує управління трансивером, здійснює необхідні перетворення коду транспондера, отриманого від трансивера, контролює достовірність отриманих даних та здійснює їх буферизацію.

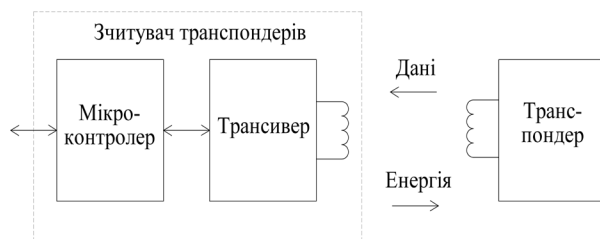


Рисунок 3.3 – Узагальнена структурна схема системи радіочастотної ідентифікації на основі пасивних транспондерів

Для ідентифікації тварин у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм в переважній більшості випадків використовуються транспондери і трансивери з рамковими антенами. Ці антени є складовою частиною коливальних контурів, що налаштовані на однакову резонансну частоту, значення якої складає 134 кГц [89, 90].

Конструктивно, пасивні транспондери для ідентифікації тварин являють собою монолітні герметичні вироби, які закріплюються в переважній більшості випадків на тварині [94, 95, 149]. В середині них знаходиться котушка індуктивності, яка виконує функцію рамкової антени, деякі пасивні та активні елементи, мікроконтролер. В пам'ять мікроконтролера транспондера у процесі його виробництва записується унікальний код. Пасивні транспондери працюють за рахунок енергії електромагнітного поля, що надходить від ЗТ коли транспондер знаходиться у його робочій зоні. Рівень цієї енергії повинен мати достатню величину, щоби забезпечити живлення електронних компонентів транспондера та передачу даних від транспондера до ЗТ. Транспондер генерує у відповідь на запит ЗТ власний пакет даних з унікальним цифровим кодом. Цей пакет надсилається радіопередавачем транспондера за допомогою його рамкової антени, тобто у пасивному транспондері одна і та сама антена використовується як для отримання енергії від ЗТ, так і для передачі даних до ЗТ.

У ЗТ також одна і та сама рамкова антена використовується для передачі енергії до транспондера та отримання від нього даних. Код транспондера дешифрується ЗТ з використанням синхронного детектування, після чого цей код передається до сервера ІВС ПБТСД. Сервер на основі отриманого коду транспондера та за допомогою відповідної бази даних визначає номер тварини у стаді або групі.

Існують системи радіочастотної ідентифікації, у яких передбачена можливість запису даних у пам'ять пасивного транспондера. Такі системи можуть стабільно функціонувати в умовах, коли забезпечується нерухоме положення транспондера в робочій зоні ЗТ при максимальному значенні коефіцієнта індуктивного зв'язку між антенами ЗТ та транспондера. При роботі у доїльно-молочному відділенні тваринницької ферми задовольнити ці умови під час руху тварин неможливо, тому запис певних даних в пасивний транспондер (наприклад стадного номера тварини) не здійснюється [150].

При наближенні транспондера до ЗТ утворюється система з індуктивним зв'язком, еквівалентна схема якої наведена на рис. 3.4. Антена ЗТ, яка має індуктивність L_R та активний опір R_{LR} , разом з ємністю C_R утворює послідовний коливальний контур. При резонансі через цей послідовний коливальний контур протікає струм I_R , на антені ЗТ виникає резонансна напруга U_{LR} . Антена транспондера, яка має індуктивність L_T та активний опір R_{LT} , разом з ємністю C_T утворює паралельний коливальний контур, який навантажений на еквівалентний активний опір R_T . При резонансі на антені транспондера утворюється падіння напруги U_{LT} , через антену протікає струм I_T [151].

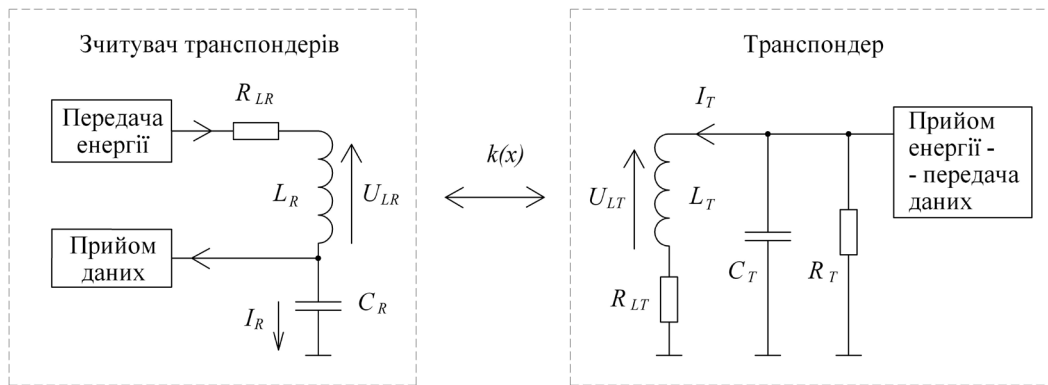


Рисунок 3.4 – Еквівалентна схема системи з індуктивним зв'язком, яка утворена ЗТ та транспондером

У ЗТ рамкова антена завжди входить до складу послідовного коливального контура, а у транспондері – до складу паралельного коливального контура. Обидва коливальних контури налаштовуються на однакову резонансну частоту, яка є робочою частотою системи ідентифікації та визначається виразом [152]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_R}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}}. \quad (3.12)$$

Відстань, на якій можливе здійснення радіочастотної ідентифікації, визначається за виразом [152]

$$r_x \leq \frac{c}{2\pi f_0}, \quad (3.13)$$

де c – швидкість світла у середовищі.

Модуль вектора напруженості магнітного поля у точці на осі симетрії кільцевої рамкової антени ЗТ на відстані x від її площини визначається виразом [153]

$$H_R(x) = \frac{I_R N_R r_R^2}{2(r_R^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (3.14)$$

де r_R – радіус рамкової антени ЗТ; N_R – кількість витків у рамковій антені ЗТ.

Функція, що описується виразом (3.14), має максимум, який визначається співвідношенням [153]

$$r_R \approx \sqrt{2} \cdot x. \quad (3.15)$$

Виходячи з (3.15), для забезпечення максимального значення модуля вектора напруженості магнітного поля і внаслідок цього підвищення надійності функціонування системи ідентифікації тварин, радіус кільцевої рамкової антени ЗТ повинен бути приблизно в $\sqrt{2}$ разів більшим, ніж очікувана середня відстань між транспондером та ЗТ.

Під час руху тварин випадково змінюється відстань та кут між площинами антен ЗТ та транспондера, взаємне розташування яких наведено на рис. 3.5. Важливим параметром, який значно впливає на надійність функціонування системи ідентифікації, є коефіцієнт індуктивного зв'язку між рамковими антенами ЗТ та транспондера.

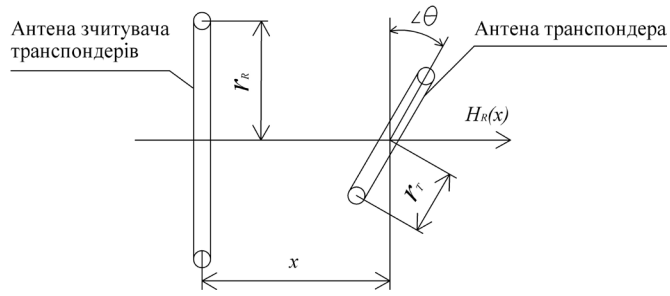


Рисунок 3.5 – Взаємне розташування рамкових антен ЗТ та транспондера під час руху тварин

Він залежить від відстані між антенами, геометричних розмірів антен та кута між їхніми площинами, та визначається виразом [153]

$$k(x) = \frac{M_{RT}}{\sqrt{L_R L_T}} = \frac{r_R^2 \cdot r_T^2 \cdot \cos(\theta)}{\sqrt{r_R \cdot r_T} \cdot (r_R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (3.16)$$

де M_{RT} – взаємна індукція між рамковими антенами ЗТ та транспондера; θ – кут між площинами рамкових антен ЗТ та транспондера; r_T – радіус рамкової антени транспондера.

З виразу (3.16) випливає, що при перпендикулярному розташуванні антен ЗТ та транспондера ідентифікація взагалі неможлива. Для підвищення надійності функціонування системи ідентифікації необхідно скорочувати відстань між транспондером та ЗТ, забезпечувати оптимальне співвідношення між геометричними розмірами антен ЗТ та транспондера, зменшувати кут між площинами антен ЗТ та транспондера. Слід відзначити, що зміщення транспондера в сторону відносно осі симетрії рамкової антени ЗТ незначно впливає на коефіцієнт індуктивного зв'язку між антенами до тих пір, поки транспондер знаходиться навпроти антени ЗТ. Ця обставина зумовлена особливостями розташування силових ліній магнітного поля рамкової антени.

На практиці, в процесі руху тварин вздовж ЗТ, просторова орієнтація транспондера може бути довільною, а його відстань від площини антени ЗТ

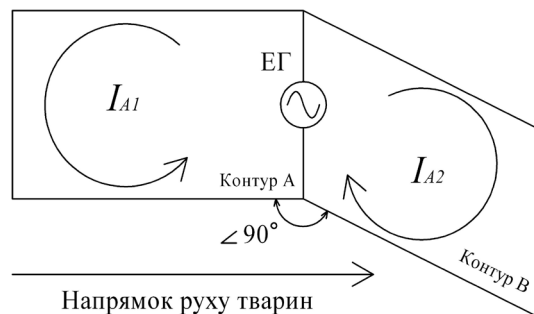


Рисунок 3.6 – Схематичне креслення двоконтурної ортогональної антени ЗТ

сильно змінюватись. Наприклад, у випадку закріплення транспондера на вусі тварини, її голова під час проходження біля ЗТ може бути піднятою, опущеною донизу або ж повернута вбік. У таких обставинах транспондер може бути виведений поза робочу зону ЗТ або мати неприпустиму орієнтацію, що приведе до втрати інформації. Для розширення робочої зони ЗТ пропонується використовувати у складі ЗТ двоконтурну ортогональну антену, схематичне креслення якої наведено на рис. 3.6 [154]. Контур антени А розташований вздовж руху тварини, а контур В являє собою рамку, через яку тварина проходить. Збудження обох контурів відбувається від еквівалентного генератора (ЕГ), який створює в контурах струми I_{A1} та I_{A2} . Внаслідок суперпозиції полів кожного контуру, за умови ідентичності їх геометричних розмірів та рівності струмів I_{A1} та I_{A2} , в дальній зоні буде одержана діаграма направленості, що є еквівалентною до діаграми направленості магнітної дипольної антени повернутої на кут $\pi/4$. На рис. 3.7 наведено сімейство еквіпотенціальних кривих поля ЗТ з двоконтурною ортогональною антенною та варіанти орієнтації транспондера у електромагнітному полі, що створюється цією антенною. Розглядаючи рух тварини вздовж антен системи ідентифікації, стає очевидним, що при будь-якому куті орієнтації транспондера в процесі пересування він обов'язково потрапляє в робочу зону контура А або контура В.

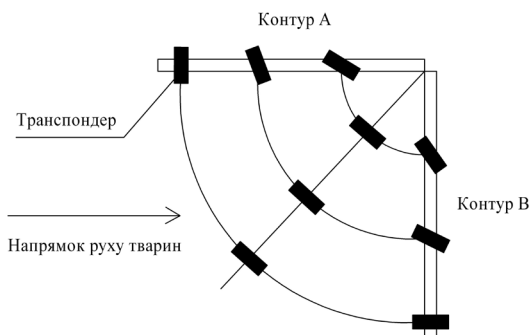


Рисунок 3.7 – Сімейство еквіпотенціальних кривих поля ЗТ з двоконтурною ортогональною антенною та варіанти орієнтації транспондера

Для оцінення ефективності зчитування кодів транспондерів при використанні одноконтурної і двоконтурної антени була створена експериментальна макетна установка. Антени систем ідентифікації були змонтовані у різних робочих траншеях доільної установки типу «Ялинка», на проходах до сторін. Дослідження одноконтурної системи ідентифікації проводилися на основі групи з 132 тварин протягом трьох

доїнь, а дослідження двоконтурної системи ідентифікації – на основі групи з 128 тварин, також протягом трьох доїнь. Таким чином, у першому випадку через прохід пройшло 396 тварин, а у другому випадку – 384 тварини. У всіх тварин транспондер знаходився в лівому вусі, одноконтурна антена та контур А двоконтурної антени знаходилися зліва від проходу. Результати проведених експериментальних досліджень наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати порівняльного дослідження одноконтурної та двоконтурної систем радіочастотної ідентифікації

Результати ідентифікації		Одноконтурна антена		Двоконтурна антена	
		Кільк.	%	Кільк.	%
Не успішна ідентифікація	Транспондер під антеною	14	3,5 %	–	0 %
	Транспондер над антеною	5	1,3 %	–	0 %
	Зміщення тварини вправо	9	2,3 %	–	0 %
	Ортогональне розташування антен транспондера і ЗТ	15	3,8 %	–	0 %
Успішна ідентифікація		353	89,1 %	383	99,7 %
Всього не ідентифіковано		43	10,8 %	1	0,3 %
Всього досліджено		396	100 %	384	100 %

Як бачимо із таблиці 3.1, при використанні одноконтурної антени у 14 випадках коди транспондерів не були зчитані внаслідок низько опущеної голови тварини, в результаті чого транспондер знаходився нижче антени. У 5 випадках тварини піднімали голову вище антени ЗТ, у 9 випадках, коли тварина проходила вздовж антени ЗТ, зчитування не відбувалось внаслідок зміщення тварини вправо. У 15 випадках спостерігалось ортогональне розташування площин антен транспондера і ЗТ внаслідок того, що голова тварини була повернута вправо. Результати функціонування системи ідентифікації з двоконтурною антеною надають суттєво кращі результати, ніж з одноконтурною. З таблиці 3.1 випливає, що процент успішних зчитувань кодів транспондерів збільшився з 89,1 % до 99,7 %. Випадки помилок ідентифікації, характерні для одноконтурної системи, тут не спостерігались. Був зафіксований лише один епізод із невизначеної причини, коли код транспондера не був зчитаний.

Таким чином, використання систем радіочастотної ідентифікації з одноконтурними антенами не забезпечує високу надійність зчитування кодів транспондерів в процесі руху тварин. Основними чинниками ненадійного зчитування є велика зона можливого вертикального і горизонтального положення голови тварини, а також довільний кут просторової орієнтації транспондера, визначений поведінкою тварини. Головною причиною відсутності зчитування коду в одноконтурних системах є ортогональне розташування площин антен транспондера і ЗТ. Використання двоконтурної антенної системи ЗТ дозволяє суттєво розширити робочу зону і таким чином

збільшити надійність ідентифікації тварин. Системи ідентифікації тварин під час руху з одноконтурними антенами не дозволяють забезпечити 100 % ідентифікацію і вимагають подальшого покращення їх характеристик.

3.3 Ідентифікація проходження тварини з використанням оптимальної лінійної фільтрації

Для зменшення впливу помилок ідентифікації тварин під час руху на результати роботи ІВС ПБТСД використовують БПТ, які забезпечують ідентифікацію факту проходження тварин та їх підрахунок. БПТ реалізуються на основі ультразвукових або оптичних давачів, принцип дії яких в більшості випадків заснований на перериванні потоку випромінювання при наявності об'єкта.

На рис. 3.8 наведено схему руху потоку тварин вздовж антени ЗТ та давача БПТ. При проходженні тварини через робочу зону ЗТ зчитується код її транспондера, після цього тварина проходить через робочу зону давача БПТ. Давач БПТ складається з випромінювача та приймача ультразвуку або оптичного випромінювання. При попаданні тварини в робочу зону давача відбувається переривання потоку випромінювання, в результаті на виході приймача формується імпульс певної тривалості, наявність якого є ознакою проходження тварини.

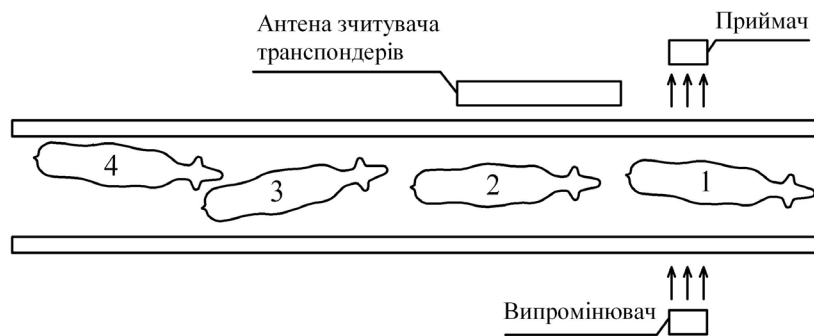


Рисунок 3.8 – Рух потоку тварин вздовж антени ЗТ та давача БПТ

Сучасні давачі наявності об'єкта забезпечують отримання сигналу потрібного логічного рівня [155]. Слід відзначити, що існують варіанти реалізації БПТ, у яких використовуються давачі, принцип дії яких заснований на відбитті ультразвуку або оптичного випромінювання від об'єктів. Кожному коду транспондера, який отриманий за допомогою ЗТ, відповідає імпульсний вихідний сигнал давача БПТ. Якщо радіочастотна ідентифікація однієї або декількох тварин з певних причин не відбулася, факт їх проходження все одно

встановлюється. Таким чином, за наявності БПТ здійснюється виявлення не ідентифікованої тварини та визначення її номера в потоці на основі результатів підрахунку їх кількості. На групових доїльних установках це дає можливість запобігти втраті інформації про всю групу тварин. При використанні селекційних воріт застосування БПТ дозволяє виявити тварину, у якої, можливо, зіпсований транспондер. У цьому випадку, за допомогою селекційних воріт, тварина відокремлюється з метою виявлення та усунення причини помилки її ідентифікації. На конвеєрних доїльних установках за допомогою БПТ визначається номер доїльного станка, у якому знаходиться не ідентифікована тварина. Використання БПТ на автоматичних вагових платформах призводить до зниження імовірності того, що результати вимірювання ваги однієї тварини будуть віднесені до іншої [6, 31, 83].

Рух тварин у потоці має випадковий характер, що зумовлено біологічними особливостями поведінки тварин. Вони можуть зупинятися, штовхатися, рухатись у зворотному напрямку, здійснювати хаотичні рухи, рухатись у напрямку, що перпендикулярний напрямку руху потоку, присідати, піднімати або опускати голову. Типова часова діаграма вихідного сигналу давача БПТ під час руху тварин у потоці наведена на рис. 3.9.

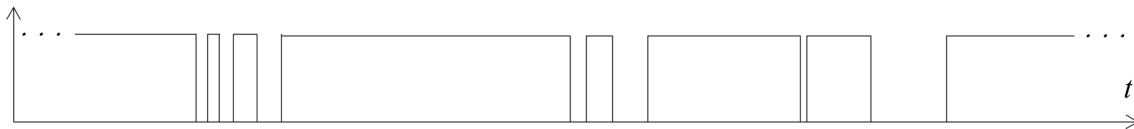


Рисунок 3.9 – Типова часова діаграма вихідного сигналу давача БПТ під час руху тварин у потоці

У роботі [156] на основі експериментальних досліджень встановлено, що швидкість руху тварин у потоці складає 0,4–0,6 м/с, а середня довжина тварини складає 2,6 м. При проходженні однієї тварини через робочу зону давача БПТ, він формує сигнал, тривалість якого визначається виразом

$$T_C = \frac{l_C}{v_C}, \quad (3.17)$$

де l_C – довжина тварини; v_C – швидкість руху тварини.

Внаслідок того, що характер руху окремих тварин у потоці залежить від великої кількості випадкових факторів, які слабо корельовані, і серед них немає факторів, що домінують, на підставі

першої граничної теореми [117] можна припустити, що тривалість імпульсного вихідного сигналу давача БПТ є випадковою величиною, яка розподілена за нормальним законом з математичним очікуванням T_{CM} та середньоквадратичним відхиленням (СКВ) σ_{CM} . Відповідно, мінімальне $T_{C\ MIN}$ та максимальне $T_{C\ MAX}$ значення часу проходження однієї тварини повз робочу зону давача визначають межі цього параметра у відповідності з правилом трьох сигма.

Взаємне розташування тварин під час їх руху у потоці впливає на достовірність ідентифікації їх проходження. В існуючих БПТ, для ідентифікації проходження тварин використовують такі критерії. Якщо рух тварин у потоці відбувається рівномірно, з проміжками між тваринами (див. тварин 1 та 2 на рис. 3.8), то кожній тварині відповідає окремий імпульсний вихідний сигнал давача БПТ. У цьому випадку критерієм ідентифікації проходження тварини є виконання умови

$$T_C \in [T_{C\ MIN}; T_{C\ MAX}]. \quad (3.18)$$

Якщо тварини у потоці рухаються одна за одною без проміжку, або вони суміщені (див. тварин 3 та 4 на рис. 3.8), то критерієм ідентифікації проходження n_C тварин повз робочу зону давача БПТ є виконання співвідношення

$$T_C \in [k_C n_C T_{C\ MIN}; k_C n_C T_{C\ MAX}]. \quad (3.19)$$

де k_C – постійний коефіцієнт, за допомогою якого враховується можливе суміщення тварин під час їх руху в потоці та різне значення швидкості руху окремих тварин.

Внаслідок того, що в дійсності коефіцієнт k_C не є постійною величиною, а має випадковий характер, у випадку суміщення тварин під час руху або у випадку їх руху без проміжку між ними можливе виникнення помилки ідентифікації проходження тварини.

Виходячи з випадкового характеру руху тварин у потоці, вихідний сигнал давача БПТ можна розглядати як суміш двох сигналів – корисного імпульсного сигналу $s_M(t)$ та випадкового некорельованого імпульсного сигналу $s_N(t)$. Шляхом виявлення наявності імпульсу сигналу $s_M(t)$ ідентифікується проходження тварини. У відповідності з [117, 157], некорельована імпульсна послідовність $s_N(t)$ має рівномірний енергетичний спектр в певній смузі частот, що дає підстави розглядати її як білий шум.

Для підвищення достовірності ідентифікації проходження тварини під час її руху в потоці пропонується використати метод оптимальної лінійної фільтрації. Розглянемо принцип роботи оптимального лінійного фільтра, за допомогою якого забезпечується максимізація відношення сигнал–шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу. Комплексний енергетичний спектр сигналу $s_M(t)$ визначається виразом [158, 159]

$$S_M(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_M(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (3.20)$$

де ω – циклічна частота спектральних складових; j – уявна одиниця.

Шумовий сигнал $s_N(t)$ має характер білого шуму з рівномірним енергетичним спектром, який визначається виразом

$$W_N(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_N(t) e^{-j\omega t} dt = W_0. \quad (3.21)$$

Пікове значення сигналу на виході оптимального фільтра у певний момент часу t_0 визначається узагальненим виразом

$$s_P(t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega, \quad (3.22)$$

де $S_M(\omega)$ – модуль комплексного енергетичного спектру корисного сигналу; $K_{OPT}(\omega)$ – модуль комплексної передатної характеристики фільтра; $\varphi_M(\omega)$ – фазова характеристика спектру корисного сигналу; $\varphi_K(\omega)$ – фазо-частотна характеристика оптимального фільтра.

Середньоквадратичне значення шумового сигналу на виході оптимального фільтра визначається виразом

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}, \quad (3.23)$$

Відповідно, відношення сигнал–шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу визначається виразом

$$R_{SN} = \frac{|s_P(t_0)|}{\sigma_N} = \frac{\left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|}{\sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}}. \quad (3.24)$$

У відповідності з нерівністю Коши–Буняковського [160]

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|^2 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} S_M^2(\omega) d\omega \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega. \quad (3.25)$$

Тоді вираз (3.24) можна представити у вигляді

$$R_{SN} = \frac{\left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|}{\sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}} \leq \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} S_M^2(\omega) d\omega}{2\pi W_0}}. \quad (3.26)$$

З виразу (3.26) випливає, що для того, щоб відношення сигнал–шум досягло максимуму, необхідно щоб нерівність трансформувалася в рівність. Це відбудеться, якщо будуть виконані умови

$$\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega) = 0; \quad (3.27)$$

$$K_{OPT}(\omega) = A_0 S_M(\omega), \quad (3.28)$$

де A_0 – постійний коефіцієнт.

Звідси випливає, що передатна функція оптимального лінійного фільтра має вигляд

$$K_{OPT}(j\omega) = A_0 S_M(\omega) e^{-j\omega t_0} e^{-j\varphi_M(\omega)}. \quad (3.29)$$

Комплексно-спряжена відносно $S_M(\omega)$ функція визначається виразом.

$$S_M^*(\omega) = S_M(\omega) e^{-j\varphi_M(\omega)}. \quad (3.30)$$

Виходячи з цього, вираз (3.29) можна представити у вигляді

$$K_{OPT}(j\omega) = A_0 S_M^*(\omega) e^{-j\omega t_0}. \quad (3.31)$$

Сигнал на виході оптимального лінійного фільтра визначається за виразом

$$s_F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (3.32)$$

При проходженні тварини корисний вихідний сигнал давача БПТ являє собою прямокутний імпульс певної тривалості T_C , яка залежить від швидкості руху і довжини тварини. Функція, яка описує цей сигнал, визначається виразом

$$s_M(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A, & 0 \leq t \leq T_C \\ 0, & t > T_C \end{cases}. \quad (3.33)$$

У відповідності з [161], передатна функція лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу

$$K_{OPT}(j\omega) = \frac{A_0}{j\omega} (1 - e^{-j\omega T_{OPT}}), \quad (3.34)$$

де T_{OPT} – тривалість імпульсу узгоджена з оптимальним лінійним фільтром.

Розглянемо рис. 3.10, на якому наведено структурну схему лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю T_{OPT} , який має передатну характеристику, що визначається виразом (3.34) [159, 160].

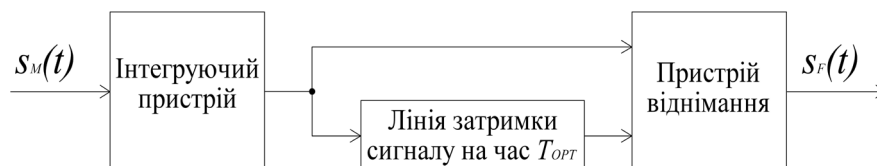


Рисунок 3.10 – Структурна схема лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю T_{OPT}

За допомогою інтегруючого пристрою здійснюється інтегрування вхідного сигналу $s_M(t)$, після чого результат інтегрування надходить на входи пристрою віднімання та лінії затримки сигналу на час T_{OPT} . На виході пристрою віднімання формується вихідний сигнал $s_F(t)$, який дорівнює різниці між інтегральною функцією вхідного сигналу та затриманою на час T_{OPT} інтегральною функцією вхідного сигналу.

Якщо оптимальний фільтр узгоджений з вхідним сигналом, тобто $T_C = T_{OPT}$, то вихідний сигнал фільтра визначається виразом [161]

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_{OPT}; \\ A(T_{OPT} - t), & T_{OPT} \leq t < 2T_{OPT}; \\ 0, & t \geq 2T_{OPT}. \end{cases} \quad (3.35)$$

Пікове значення вихідного сигналу фільтра при $T_C = T_{OPT}$ дорівнює

$$s_{F OPT} = A \cdot T_{OPT}. \quad (3.36)$$

Відношення сигнал–шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра при $T_C = T_{OPT}$ має максимальне значення та визначається виразом

$$R_{SN OPT} = \frac{s_{P OPT}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_{OPT}}{\sigma_N}. \quad (3.37)$$

Позначимо через T_L тривалість вхідного сигналу оптимального лінійного фільтра, яка менша ніж T_{OPT} , тобто $T_C = T_L < T_{OPT}$. У цьому випадку вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра визначається виразом

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_L; \\ AT_L, & T_L \leq t < T_{OPT}; \\ A(T_L - t), & T_{OPT} \leq t < T_{OPT} + T_L; \\ 0, & t \geq T_{OPT} + T_L. \end{cases} \quad (3.38)$$

Пікове значення вихідного сигналу фільтра, у цьому випадку

$$s_{FL} = A \cdot T_L. \quad (3.39)$$

Відношення сигнал–шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра, якщо тривалість вхідного сигналу менша ніж тривалість узгодженого сигналу, визначається виразом

$$R_{SNL} = \frac{s_{PL}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_L}{\sigma_N}. \quad (3.40)$$

Позначимо через T_H тривалість вхідного сигналу оптимального лінійного фільтра, яка більша ніж T_{OPT} , тобто $T_C = T_H > T_{OPT}$. У цьому випадку вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра визначається виразом

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_{OPT}; \\ AT_{OPT}, & T_{OPT} \leq t < T_H; \\ A(T_H - t), & T_H \leq t < T_{OPT} + T_H; \\ 0, & t \geq T_{OPT} + T_H. \end{cases} \quad (3.41)$$

У цьому випадку пікове значення вихідного сигналу оптимального лінійного фільтра

$$s_{FH} = A \cdot T_{OPT}. \quad (3.42)$$

Відношення сигнал–шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра, якщо тривалість вхідного сигналу більша ніж тривалість узгодженого сигналу, визначається виразом

$$R_{SNH} = \frac{s_{PH}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_{OPT}}{\sigma_N}. \quad (3.43)$$

Часові діаграми роботи оптимального лінійного фільтра для прямокутного імпульсу при різних значеннях тривалості вхідного сигналу наведені на рис. 3.11.

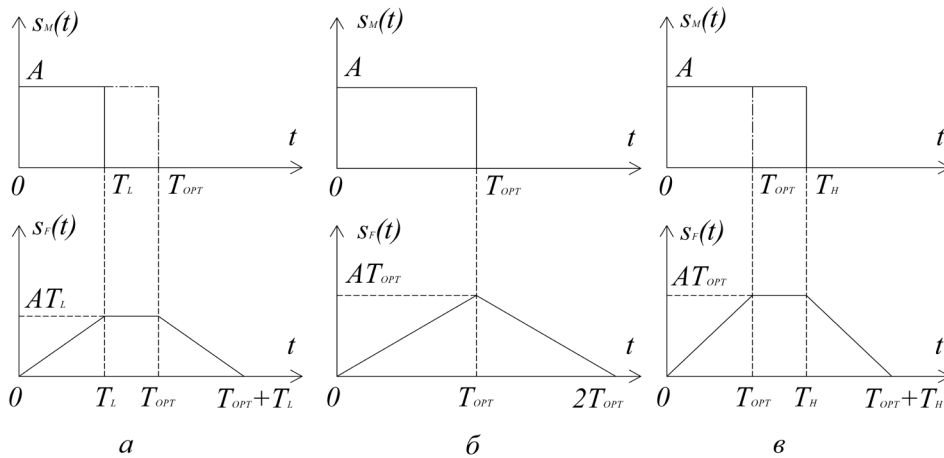


Рисунок 3.11 – Часові діаграми роботи оптимального лінійного фільтра для прямокутного імпульсу при різних співвідношеннях між тривалістю вхідного сигналу та тривалістю узгодженого сигналу:

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

Як випливає з аналізу виразів (3.35)–(3.43) та рис. 3.11, при $T_C = T_L < T_{OPT}$ вихідний сигнал оптимального фільтра уявляє собою трапецеїдальну функцію, пікове значення якої менше, ніж при $T_C = T_{OPT}$ та $T_C > T_{OPT}$. При $T_C = T_{OPT}$ та $T_C > T_{OPT}$ пікове значення вихідного сигналу оптимального фільтра досягає максимального значення та дорівнює $A \cdot T_{OPT}$. Виходячи з цього, максимум відношення сигнал–шум у вихідному сигналі оптимального фільтра досягається при $T_C = T_{OPT}$ та залишається таким самим при $T_C > T_{OPT}$.

Таким чином, при ідентифікації проходження тварини, для досягнення максимального значення відношення сигнал–шум, необхідно забезпечити виконання співвідношення

$$T_{OPT} = T_{C\ MIN}. \quad (3.44)$$

Реалізація лінійного оптимального фільтра для ідентифікації проходження тварини забезпечується за допомогою методів цифрової обробки сигналів в режимі реального часу. В певні моменти часу $t_1, t_2, t_3 \dots$ визначаються миттєві значення вихідного сигналу давача БПТ $s_M(t_1), s_M(t_2), s_M(t_3) \dots$, на основі отриманих значень визначається інтерполююча функція $s_{AF}(t)$. Після цього обчислюються функції

$$s_{IAF}(t) = \int_0^t s_{AF}(t) dt, \quad (3.45)$$

та

$$s_{DIAF}(t) = s_{IAF}(t - T_{C\ MIN}). \quad (3.46)$$

Ознакою наявності сигналу, який відповідає проходженню тварини, є виконання рівності

$$A \cdot T_{C\ MIN} = s_{IAF}(t) - s_{DIAF}(t). \quad (3.46)$$

Як впливає з аналізу виразу (3.41) та рис. 3.11, при $T_C = T_H > T_{OPT}$, час, протягом якого вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра має максимальне значення $A \cdot T_{OPT} = A \cdot T_{C\ MIN}$, визначається виразом

$$T_{CH} = T_H - T_{C\ MIN}. \quad (3.47)$$

На основі результатів вимірювання часу T_{CH} ідентифікується проходження двох і більше тварин, якщо вони рухаються у потоці з суміщенням або без проміжку між ними. Якщо виконується співвідношення

$$T_{CH} \in [T_{C\ MIN}; T_{C\ MAX}], \quad (3.48)$$

приймається рішення про ідентифікацію проходження однієї тварини.

Якщо T_{CH} перевищує значення $T_{C\ MAX}$, а це відбувається під час руху тварин у потоці з суміщенням або без проміжку між ними, рішення про ідентифікацію проходження $n_C \geq 2$ тварин приймається у випадку виконання співвідношення

$$T_{CH} \geq n_C T_{CM}. \quad (3.49)$$

Кількість тварин, проходження яких ідентифіковано, у цьому випадку визначається виразом

$$n_C = \left\lfloor \frac{T_{CH}}{T_{CM}} \right\rfloor. \quad (3.50)$$

Після цього вищевказані процедури починають виконуватись з початку. Наслідком максимізації відношення сигнал–шум при використанні оптимального лінійного фільтра є підвищення достовірності ідентифікації проходження тварини у порівнянні з існуючим способом.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при використанні радіочастотної ідентифікації тварин під час руху, з різних причин в середньому не ідентифікується від 3 % до 5 % тварин.

У деяких випадках цей показник досягає значення 15 %. При використанні існуючих БПТ, внаслідок підрахунку тварин у потоці, на групових доільних установках вдається виявити 60–70 % не ідентифікованих тварин. При використанні БПТ на основі лінійного оптимального фільтра, який входить до складу приладу БЦР–01, що розроблений та виготовляється підприємством «Паллар ЛТД» [162] на замовлення ТДВ «Брацлав», вдається виявити до 95 % не ідентифікованих тварин.

3.4 Розвиток математичної моделі фотоелектричного вимірювального перетворення площа–напруга

Оптичні і фотоелектричні ВП до цього часу широко розповсюджені. В основу принципу дії оптичних ВП покладено залежність параметрів оптичного випромінювання від значення перетворюваної фізичної величини. Остання може діяти безпосередньо на джерело випромінювання, змінюючи його інтенсивність або впливаючи на параметри оптичного потоку. Фотоелектричні ВП здійснюють перетворення оптичних параметрів світлового потоку в електричний сигнал. Перспективними є фотоелектричні первинні ВП на основі перетворення площа–напруга. У таких ВП площа освітлюваного фоточутливого шару фотоприймача змінюється під дією вимірюваної фізичної величини. В результаті, вихідна напруга такого ВП є функцією вимірюваної фізичної величини.

Розглянемо фотоприймач на основі пари фотодіод – операційний підсилювач. На рис. 3.12а наведено його принципову схему, а на рис. 3.12б – еквівалентну схему.

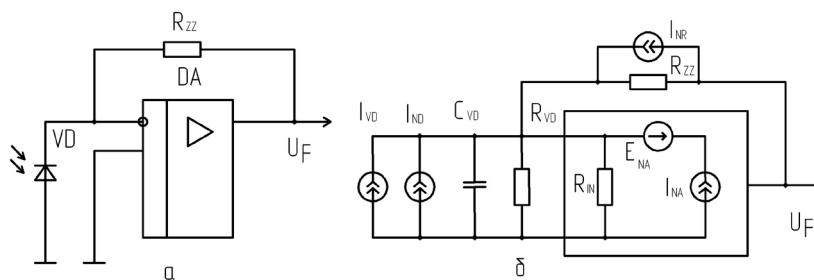


Рисунок 3.12 – Фотоприймач на основі пари фотодіод–операційний підсилювач

У наведеній схемі фотодіод VD діє як генератор струму, а операційний підсилювач DA, охоплений зворотним зв'язком, перетворює

цей струм у напругу. Залежність струму, що протікає через фотодіод, від потоку випромінювання, описується виразом [163]

$$I_{VD} = \frac{\Phi S_{I_0}(\lambda)}{\sqrt{1 + (\Omega \tau_{VD})^2}} - I_s \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{kT}\right) - 1 \right), \quad (3.51)$$

де I_{VD} – струм фотодіода; λ – довжина хвилі оптичного випромінювання; $S_{I_0}(\lambda)$ – інтегральна струмова чутливість фотодіода; Φ – потік випромінювання; I_s – темновий струм фотодіода; U_{VD} – падіння напруги на фотодіоді; T – абсолютна температура; k – постійна Больцмана; e_e – заряд електрона; Ω – циклічна частота модуляції потоку опромінення; τ_{VD} – постійна часу фотодіода, яка залежить від величин внутрішнього опору фотодіода R_{VD} та паразитної ємності фотодіода C_{VD} .

У роботах [164–166] розглянуто математичну модель фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, але у цій моделі не враховано спектральну характеристику фотодіода – залежність його інтегральної струмової чутливості від довжини хвилі оптичного випромінювання. У відповідності з [167–170], характер спектральної характеристики фотодіода залежить від великої кількості факторів та фізичному аналізу практично не піддається. На основі аналізу матеріалів провідних виробників оптоелектронних компонентів [171–177], можна зробити висновок, що спектральна характеристика фотодіода має дзвоноподібну форму, дорівнює нулю при певних значеннях довжини хвилі оптичного випромінювання, може бути симетричною та асиметричною, при чому коефіцієнт асиметрії може бути меншим нуля і більшим нуля. Пропонується шукати функцію, яка інтерполює спектральну характеристику фотодіода, у вигляді [148]

$$g(x) = x^{a-1}(1-x)^{b-1}, \quad (3.52)$$

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

Якщо $a > b$, коефіцієнт асиметрії менший нуля і максимум функції зміщений вліво, якщо $a < b$, коефіцієнт асиметрії більший нуля і максимум функції зміщений вправо. У випадку, якщо $a = b \neq 1$, то функція симетрична, якщо $a = 1$ та $b = 1$, то графіком функції є пряма лінія. Значення цієї функції дорівнює нулю, якщо $x = 0$, або $x = 1$. Виходячи з цього, функцію (3.52) можна взяти за основу для знаходження інтерполюючої функції спектральної характеристики фотодіода. Нехай

$$x = \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}}, \quad (3.53)$$

де λ_{MAX} – гранична довжина хвилі оптичного випромінювання, при якій значення спектральної характеристики дорівнює нулю.

Представимо інтерполюючу функцію спектральної характеристики фотодіода у вигляді

$$S_{I0}(\lambda) = K_A \left(\frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{a-1} \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{b-1}, \quad (3.54)$$

де K_A – коефіцієнт пропорційності між базовою функцією (3.52) та значенням спектральної чутливості фотодіода.

Для знаходження аналітичного виразу інтерполюючої функції спектральної характеристики необхідно знайти коефіцієнт K_A та параметри a і b . Знайдемо значення λ_0 , при якому функція (3.54) досягає максимуму. Для цього визначимо першу похідну функції (3.54) та прирівняємо її до нуля.

$$S'_{I0}(\lambda) = (a-1) \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{b-1} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{a-2} - (b-1) \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{b-2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{a-1} = 0. \quad (3.55)$$

В результаті розв'язання рівняння (3.55), отримуємо довжину хвилі оптичного випромінювання, при якій спектральна характеристика фотодіода досягає максимуму

$$\lambda_0 = \lambda_{MAX} \left(1 + \frac{b-1}{a-1} \right)^{-1}. \quad (3.56)$$

З виразу (3.56) після нескладних перетворень отримуємо

$$b = \left(\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right) (a-1) + 1. \quad (3.57)$$

Підставивши (3.57) в (3.54), отримуємо максимальне значення спектральної характеристики фотодіода

$$S_{I0}(\lambda_0) = K_A \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{(a-1)} \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right) (a-1)}. \quad (3.58)$$

З (3.58) знаходимо вираз, який визначає коефіцієнт K_A

$$K_A = S_{I_0}(\lambda_0) \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{(1-a)} \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right)^{(1-a)}}. \quad (3.59)$$

Експериментальні спектральні характеристики фотодіодів, які наводяться у технічній документації, отримані в діапазоні довжин хвиль оптичного випромінювання від λ_{MIN} до λ_{MAX} [171–177]. При довжині хвилі λ_{MIN} значення спектральної характеристики може як відрізнятися від нуля, так і дорівнювати нулю. Значення інтерполюючої функції при довжині хвилі λ_{MIN} визначається виразом

$$S_{I_0}(\lambda_{MIN}) = K_A \left(\frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right)^{(a-1)} \left(1 - \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right)^{(a-1)}}. \quad (3.60)$$

З (3.60) знаходимо вираз, який визначає коефіцієнт K_A

$$K_A = S_{I_0}(\lambda_{MIN}) \left(\frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right)^{(1-a)} \left(1 - \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right)^{(1-a)}}. \quad (3.61)$$

Прирівняємо праві частини виразів (3.61) та (3.59)

$$\begin{aligned} S_{I_0}(\lambda_0) \left(\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right) \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1} \right)^{1-a} &= \\ = S_{I_0}(\lambda_{MIN}) \left(\left(\frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right) \left(1 - \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1} \right)^{1-a} & \end{aligned} \quad (3.62)$$

В результаті розв'язання рівняння (3.62), отримуємо вираз за допомогою якого визначається значення параметра a

$$a = 1 - \left(\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX} - \lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1} \right)^{-1}. \quad (3.63)$$

Параметри λ_{MAX} , λ_{MIN} , λ_0 , $S_{I_0}(\lambda_{MIN})$ та $S_{I_0}(\lambda_0)$ визначаються за експериментальною спектральною характеристикою фотодіода. Шляхом підстановки розрахованого за виразом (3.63) значення параметра a у вираз (3.57) визначається значення параметра b . Після цього за допомогою виразу (3.61) або (3.59) розраховується значення K_A . Узагальнений вираз для функції, яка інтерполює спектральну характеристику

фотодіода, отримуємо шляхом підстановки виразів (3.63), (3.57) та (3.59) в (3.54).

$$S_{I_0}(\lambda) = S_{I_0}(\lambda_0) \times \left(\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right) \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}-1}{\lambda_0}} \right)^{\left(\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX}-\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}-\lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}-1}{\lambda_0}} \right)^{-1}} \times$$

$$\times \left(\frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX}-\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}-\lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}-1}{\lambda_0}} \right)^{-1}} \times \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left(\frac{\lambda_{MAX}-1}{\lambda_0} \right) \left(\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})} \frac{\lambda_{MIN}}{\lambda_0} \left(\frac{\lambda_{MAX}-\lambda_{MIN}}{\lambda_{MAX}-\lambda_0} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}-1}{\lambda_0}} \right)^{-1}}$$

(3.64)

На рис. 3.13 наведено типовий експериментальний графік залежності відносної спектральної чутливості фотодіода, яка визначається як відношення $S_{I_0}(\lambda)/S_{I_0}(\lambda_0)$, виражене у відсотках, від довжини хвилі оптичного випромінювання, та графік отриманої інтерполюючої функції.

При використанні джерела світла з конденсорною лінзою, можна отримати плоско-паралельний потік опромінення, однаковий на всій площині. У цьому випадку потік опромінення та площа фоточутливого шару фотодіода, що опромінюється, зв'язані співвідношенням [178]

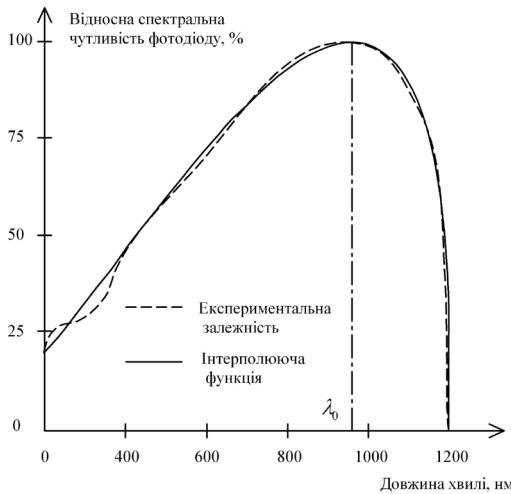


Рисунок 3.13 – Типова залежність відносної спектральної чутливості фотодіода від довжини хвилі, та графік інтерполюючої функції

$$\Phi = I \cdot S(F), \quad (3.65)$$

де I – інтенсивність променевого потоку (освітленість); $S(F)$ – освітлювана площа фоточутливого шару фотодіода, яка є функцією перетворюваної фізичної величини F .

Вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, з урахуванням зміщення нуля, різниці вхідних струмів, напруги шуму, описується виразом [179]

$$U_F = \frac{I_{VD} R_{ZZ}}{1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0}} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N, \quad (3.66)$$

де 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; R_{ZZ} – опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача; U_N – напруга шуму на виході фотоприймача.

Щільність шумового струму опору зворотного зв'язку [180]

$$I_{NR} = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_{ZZ}}}, \quad (3.67)$$

де Δf – ефективна смуга пропускання електронного тракту.

Щільність шумового струму фотодіода, що працює у фотovoltaїчному режимі [163]

$$I_{ND} = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_{VD}}}. \quad (3.68)$$

Модуль вихідної напруги шуму визначається виразом [180]

$$U_N = \sqrt{E_{NA}^2 + (I_{NA}^2 + I_{ND}^2 + I_{NR}^2)R_{ZZ}}, \quad (3.69)$$

де I_{NA} – шумовий струм операційного підсилювача; E_{NA} – шумова напруга операційного підсилювача.

Підставивши (3.51) і (3.65) в (3.66) та провівши нескладні перетворення, отримуємо

$$U_F = \frac{R_{ZZ} I_{S_{I0}}(\lambda)}{\left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0}\right) \sqrt{1 + (\Omega \tau_{VD})^2}} S(F) - \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{kT}\right) - 1 \right)}{1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0}} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N. \quad (3.70)$$

Як випливає з виразу (3.70), вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач лінійно залежить від освітлюваної площі фоточутливого шару і є функцією перетворюваної фізичної величини F .

Якщо світловий потік не модульований або циклічна частота модуляції потоку опромінення Ω набагато менша ніж гранична частота

фотодіода і операційного підсилювача, то впливом їх частотних властивостей можна знехтувати. Різниця вхідних струмів ΔI для сучасних операційних підсилювачів складає одиниці нА, а напруга зміщення U_{SM} – одиниці мВ. За умови $U_F \gg U_{SM}$ та $I_{VD} \gg \Delta I$, значеннями U_{SM} та ΔI можна знехтувати. При використанні елементної бази з низьким рівнем шумів, шумовою складовою U_N виразу (3.70) можна знехтувати. Внаслідок малого значення темного струму, яке складає одиниці нА, можна вважати, що $I_S \approx 0$. Вхідний опір сучасних операційних підсилювачів складає десятки або сотні МОм, що значно перевищує опір R_{ZZ} в колі зворотного зв'язку та внутрішній опір фотодіода. Коефіцієнт передачі сучасних операційних підсилювачів також дуже високий і може досягати десятків тисяч. Виходячи з цього справедливий вираз

$$\lim_{\substack{K_0 \rightarrow \infty \\ R_{IN} \rightarrow \infty}} \left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0} \right) = 1. \quad (3.71)$$

З урахуванням усіх цих умов вираз (3.70) набуде вигляду

$$U_F = IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}S(F). \quad (3.72)$$

З виразу (3.72) випливає, що вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач прямо пропорційна освітлюваній площі фоточутливого шару фотодіода, якщо знехтувати впливом темного струму, шумовою складовою, напругою зміщення та різницею вхідних струмів операційного підсилювача, кінцевими значеннями коефіцієнта передачі та вхідного опору операційного підсилювача тощо. Знайдемо з виразу (3.70) дійсне значення освітлюваної площі фоточутливого шару фотоприймача при $\lambda = \lambda_0$

$$S_D(F) = \frac{\sqrt{1 + (\Omega \tau_{VD})^2}}{R_{ZZ} IS_{I_0}(\lambda)} \left(U_F \left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0} \right) + I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e U_{VD}}{kT}\right) - 1 \right) - (\Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N) \left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 R_{IN}} + \frac{1}{K_0} \right) \right). \quad (3.73)$$

З виразу (3.72) знаходимо вимірне значення освітлюваної площі фоточутливого шару фотодіоду

$$S_V(F) = \frac{U_F}{S_{I_0}(\lambda)IR_{ZZ}}. \quad (3.74)$$

Визначимо абсолютну методичну похибку первинного вимірювального перетворення площа–напруга як різницю між виміряним та дійсним значенням освітлюваної площі фоточутливого шару фотодіоду [165]

$$\begin{aligned} \Delta_S &= S_V(F) - S_D(F) = \\ &= \left(\frac{1}{S_{I_0}(\lambda)IR_{ZZ}} - \left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0R_{IN}} + \frac{1}{K_0} \right) \frac{\sqrt{1 + (\Omega\tau_{VD})^2}}{R_{ZZ}IS_{I_0}(\lambda)} \right) U_F - \\ &- I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{kT}\right) - 1 \right) \frac{\sqrt{1 + (\Omega\tau_{VD})^2}}{R_{ZZ}IS_{I_0}(\lambda)} + \\ &+ (\Delta IR_{ZZ} + U_{SM} + U_N) \left(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0R_{IN}} + \frac{1}{K_0} \right) \frac{\sqrt{1 + (\Omega\tau_{VD})^2}}{R_{ZZ}IS_{I_0}(\lambda)}. \end{aligned} \quad (3.75)$$

Перша складова виразу (3.75) залежить від вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач і визначає мультиплікативну методичну складову похибки первинного перетворення. Дві інші складові виразу (3.75) визначають адитивну методичну складову похибки вимірювального перетворення.

3.5 Фотоелектричний ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом та ЗВ параметрів БТСД на його основі

Найчастіше, для вимірювання удою та інших зоотехнічних параметрів тварин, які є частиною параметрів БТСД, використовують ковшовий ВП або спеціалізовані оптичні та кондуктометричні ВП. За допомогою ЗВ на їх основі забезпечується вимірювання удою, тривалості доїння, інтенсивності потоку молока та інших параметрів, які необхідні для САУТФ та для реалізації алгоритму оптимального доїння. Досягнута у теперішній час точність вимірювання та достовірність контролю в багатьох випадках недостатня для відмови від трудомісткої процедури періодичних контрольних доїнь, оцінювання та прогнозування стану тварин, визначення моменту закінчення доїння для зняття доїльного апарата, забезпечення оптимального процесу доїння. Використання традиційних ЗВ кількості рідини, запозичених з інших галузей, виявилось малоефективним, оскільки процес молоковіддачі є унікальним, а точність показань молокомірів залежить від фізико-хімічних властивостей молока, динаміки молоковіддачі, низки інших чинників [62]. У роботі [44] розглянуто оптичний ВП інтенсивності потоку молока для доїльного апарата. При його використанні немож-

ливо забезпечити високу точність вимірювання удою та інших похідних параметрів внаслідок значного впливу на результат вимірювання піни та бульбашок повітря, які обов'язково виникають на виході колектора. Окрім того, додаткову похибку вносить нерівномірність потоку молока та немінуча зміна геометричних розмірів та форми бульбашок повітря. Внаслідок наявності та випадкового характеру появи бульбашок та піни у молочній лінії доїльного апарата може значно збільшуватись похибка вимірювального перетворення традиційних кондуктометричних витратомірів [62]. У оптичного кореляційного витратоміра молока, який пропонується у [31], похибка вимірювання значно збільшується при великих значеннях молочного потоку та при наявності у ньому піни та бульбашок повітря. Це пов'язано з тим, що вихідні сигнали фотоприймачів, які корелюються, у цих умовах втрачають подібність. При використанні ротаційних витратомірів [28] для вимірювання інтенсивності молочного потоку та удою, виникає швидке їх забруднення молочним каменем, що призводить до збільшення похибки вимірювання та відмов, а за допомогою існуючих технічних та хімічних засобів неможливо забезпечити їх якісне післядоїльне промивання. Це приводить до збільшення бактеріальної заплідненості молока і, відповідно, до зниження його якості і закупівельної ціни. Використання ультразвукових витратомірів [181] для вимірювання удою та інтенсивності молочного потоку виявилось малоефективним внаслідок значного збільшення похибки вимірювання внаслідок наявності бульбашок та піни, а також великого значення похибки вимірювання при малих потоках молока. Широко розповсюджені ковшові ВП та ЗВ кількості молока на їх основі [182–187], відрізняються надійністю та мають високі метрологічні характеристики при вимірюванні удою. При використанні ковшових ВП удій визначається з певною дискретністю (як правило сто грамів), що унеможливує високоточне вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі, що є дуже важливим для визначення моменту зняття доїльного апарата. Перспективним є непряме вимірювання удою та інших вторинних зоотехнічних параметрів на основі прямого вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, що зумовлює необхідність розробки спеціалізованого ВП рівня та ЗВ на його основі. У доїльному обладнанні бажано використовувати безконтактні ВП, наприклад фотоелектричні, у яких відсутні рухомі частини. Ця обставина зумовлена тим, що наявність рухомих частин значно погіршує якість промивання, внаслідок чого збільшується бактеріальна заплідненість молока.

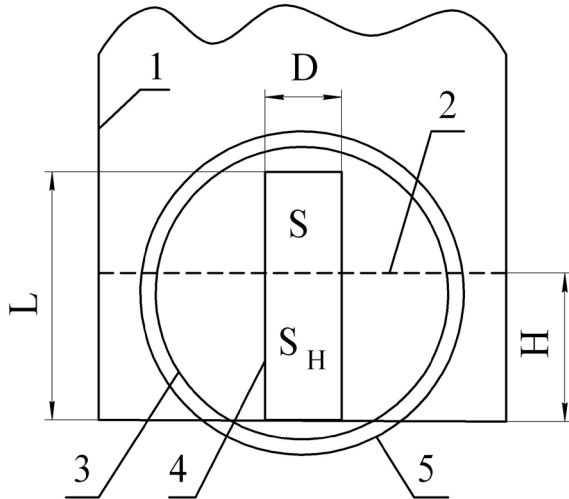


Рисунок 3.14 – Фотоелектричний перетворювач рівня в постійну напругу: 1 – корпус, 2 – рівень рідини, 3 – границя фотоелектричного шару фотоелектричного вузла, 4 – діафрагма, 5 – корпус фотоелектричного вузла

Розглянемо фотоелектричний ВП рівня рідини в постійну напругу [188–192], схематичне креслення якого наведено на рис. 3.14. Діафрагма, яка знаходиться перед фотоелектричним шаром фотоелектричного вузла, виконана у вигляді прямокутника висотою L та шириною D . Площа діафрагми визначається виразом

$$S_D = LD = S + S_H, \quad (3.76)$$

де S – площа фотоелектричного шару фотоелектричного вузла, на який попадає потік випромінювання; S_H – площа фотоелектричного шару фотоелектричного вузла, який закритий і на який потік випромінювання не попадає.

Площа S_H визначається виразом

$$S_H = HD. \quad (3.77)$$

Відповідно площа S знаходиться з співвідношення

$$S = S_D - S_H = D(L - H). \quad (3.78)$$

Для знаходження рівняння перетворення фотоелектричного ВП рівня, підставимо (3.78) в (3.72)

$$U_F = IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D(L - H). \quad (3.79)$$

Після нескладних перетворень виразу (3.79), отримуємо вимірне значення рівня рідини

$$H_V = L - \frac{U_F}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}. \quad (3.80)$$

З виразу (3.79) випливає, що вихідна напруга фотоелектричного ВП рівня в постійну напругу на основі пари фотоелектричного вузла–операційний підсилювач є лінійною функцією рівня.

Розглянутий варіант фотоелектричного ВП рівня реалізовано на основі одного фотоелектричного вузла, він не може бути використаний для реалізації ЗВ рівня молока. Ця обставина зумовлена тим, що фотоелектричні вузли, які виготовляються промислово, мають невеликі габаритні розміри і не перевищують 10–15 мм в діаметрі, а в залежності від розміру молоко-

приймальної камери, необхідно вимірювати рівень молока до декількох десятків міліметрів. Пропонується реалізувати ВП рівня молока на основі декількох фотоприймачів на основі пари фотодіод–операційний підсилювач. Схематичне конструктивне креслення такого ВП наведено на рис. 3.15а, структурну схему ЗВ рівня молока на його основі – на рис. 3.15б.

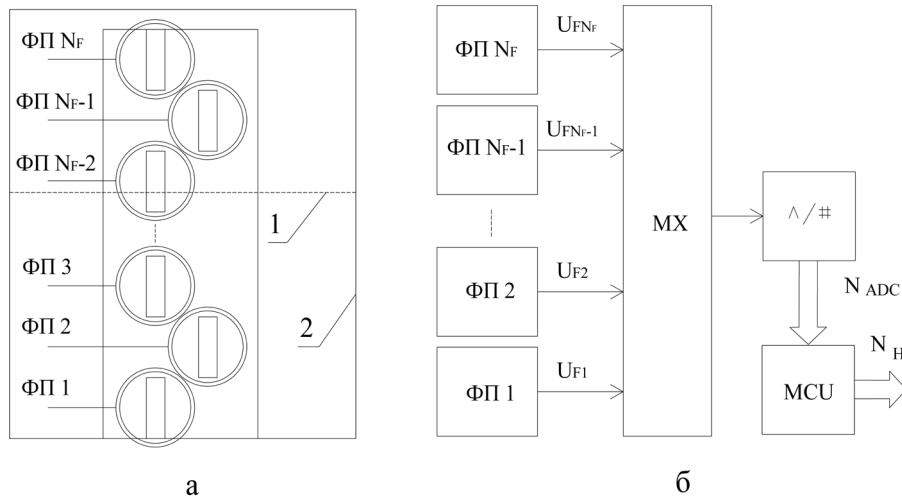


Рисунок 3.15 – ЗВ рівня молока для доїльного апарата: а) – конструктивне креслення ВП рівня; б) – структурна схема ЗВ рівня молока, 1 – рівень молока, 2 – молокоприймальна камера, ФП – фотоприймач

ВП рівня молока (див. рис. 3.15а) 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. В результаті, в еквіваленті утворюється діафрагма висотою $N_F \cdot H$ та шириною D . Навпроти кожного фотодіода знаходиться випромінювач з конденсорною лінзою для забезпечення рівномірного світлового потоку на площині фоточутливого шару. Розглянемо принцип дії ЗВ рівня молока на основі його структурної схеми (див. рис. 3.15б). Вихідні сигнали фотоприймачів на основі пари фотодіод–операційний підсилювач U_{F1} , U_{F2} , $U_{F3} \dots U_{FN_F}$ надходять на вхід мультиплектора МХ, за допомогою якого здійснюється послідовне під'єднання цих сигналів до входу аналого-цифрового перетворювача (АЦП) $\wedge/\#$. Результат перетворення вихідного сигналу кожного фотоприймача у вигляді коду N_{ADC} передається до порту введення мікроконтролера МСU. На основі отриманих даних мікроконтролер здійснює розрахунок рівня молока і подає результат вимірювання у вигляді коду N_H .

Встановимо функціональний зв'язок між вихідними напругами фотоприймачів та рівнем молока. Як впливає з рис. 3.15а, діафрагма

одного з фотоприймачів, позначимо його порядковий номер через m , частково перекрита молоком, і його вихідна напруга знаходиться в межах від ≈ 0 до максимального значення U_{FMAX} , яке буде на виході фотоприймача при відкритій діафрагмі і визначається виразом

$$U_{FMAX} = IS_{I0}(\lambda)R_{ZZ}DL. \quad (3.81)$$

Тоді у всіх фотоприймачів з номерами від $m+1$ до N_F діафрагма буде повністю відкрита, а у фотоприймачів з номерами від 1 до $m-1$ – повністю закрита. Значення m визначається програмно шляхом аналізу вихідних кодів АЦП відповідних сигналам $U_{F1}, U_{F2}, U_{F3} \dots U_{FN_F}$. Таким чином, рівень молока буде визначатися сумою висот закритих молоком діафрагм фотоприймачів з номерами від 1 до $m-1$ і рівнем закриття діафрагми m -го фотоприймача. З урахуванням (3.80), вираз для визначення рівня молока в приймальній камері доїльного апарата має вигляд

$$H_M = L - \frac{U_{Fm}}{IS_{I0}(\lambda)R_{ZZ}D} + \sum_{i=1}^{m-1} L = \sum_{i=1}^m L - \frac{U_{Fm}}{IS_{I0}(\lambda)R_{ZZ}D}, \quad (3.82)$$

де U_{Fm} – вихідна напруга m -го фотоприймача.

Слід відзначити, що можливий варіант аналогового додавання вихідних сигналів фотоприймачів з подальшою аналого-цифровою обробкою отриманої суми напруг. Але таке рішення недоцільне, тому що виникне додаткова складова похибки аналогового суматора. Окрім того, у цьому випадку складові похибки вимірювання рівня, які зумовлені темновим струмом, шумовою складовою, напругою зміщення та різницею вхідних струмів операційного підсилювача, кінцевими значеннями коефіцієнта передачі та вхідного опору операційного підсилювача збільшаться в N_F разів.

Розглянемо конструкцію та принцип дії молокоприймальної камери доїльного апарата, схематичне креслення якої наведено на рис. 3.16. Під дією вакууму, молоко з колектора всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У цій камері розташований розглянутий вище ВП рівня рідини та зливний електродклапан. В процесі доїння рівень молока в молокоприймальній камері збільшується. Після досягнення певного рівня відкривається зливний клапан і накопичене в камері молоко скидається у загальний молокопровід. В залежності від інтенсивності молоковіддачі встановлюється пороговий рівень, при якому здійснюється скидання молока.

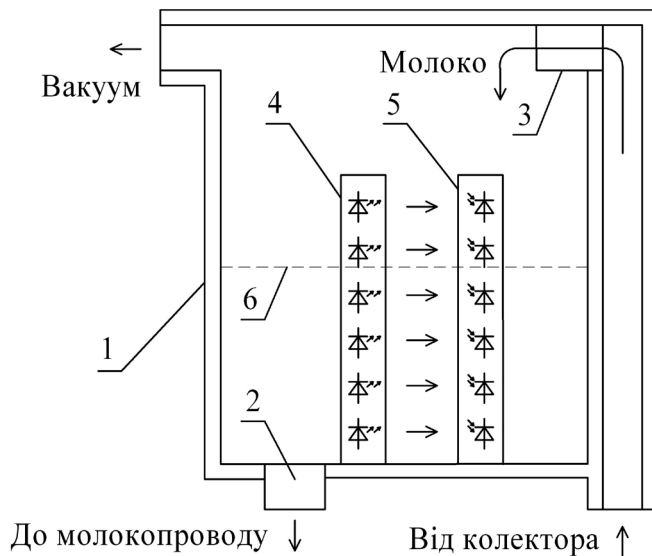


Рисунок 3.16 – Схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарату з фотоелектричним ВП рівня молока:
 1 – корпус камери, 2 – зливний електроклапан,
 3 – піновідділювач, 4 – інфрачервоні випромінювачі, 5 – фотоприймачі,
 6 – рівень молока

Інтенсивність молоковіддачі I_{MS} визначають як відношення разового удою до тривалості доїння

$$I_{MS} = \frac{V_R}{t_D} \quad (3.85)$$

Інтенсивність молоковіддачі протягом перших тридцяти секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{30} = \frac{V_{M30}}{T_{30}}, \quad (3.86)$$

де V_{M30} – удій тварини на тридцятій секунді після початку доїння; T_{30} – часовий інтервал тривалістю тридцять секунд.

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

$$I_{60} = \frac{V_{M60} - V_{M30}}{T_{30}}, \quad (3.87)$$

де V_{M60} – удій тварини на шістдесятій секунді після початку доїння.

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

Об'єм i -ї порції молока визначається виразом

$$V_{Mi} = S_M H_{Mi}, \quad (3.83)$$

де H_{Mi} – рівень молока в камері перед скиданням i -тої порції.

Тоді разовий удій тварини визначається виразом

$$V_R = S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi}, \quad (3.84)$$

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

Протягом доїння вимірюється поточний частота тривалість доїння кожної тварини t_{TD} . Інтенсив-

$$I_{90} = \frac{V_{M90} - V_{M60}}{T_{30}}, \quad (3.88)$$

де V_{M90} – удій тварини на дев'яностій секунді після початку доїння.

Миттєва інтенсивність молоковіддачі визначається як перша похідна удою за часом, часовий інтервал цифрового диференціювання у цьому випадку значно менший, ніж час, за який у молокоприймальній камері формується порція молока. Позначимо через H_{M1} рівень молока у камері в момент часу t_1 , а через H_{M2} – рівень молока у камері в момент часу t_2 . Тоді вираз, за яким визначається миттєва інтенсивність молоковіддачі

$$I_{MV} = \frac{S_M (H_{M2} - H_{M1})}{t_2 - t_1}. \quad (3.89)$$

Як було вказано у першому розділі, вимірювання латентного періоду замінюють вимірюванням часу припуску молока T_p , який визначається як час після початку доїння, за який удій тварини склав сто грамів молока. Об'єм молокоприймальної камери доїльного апарата перевищує об'єм, який відповідає ста грамам молока, тобто $N_M = 1$. Виходячи з цього, об'єм молока, який відповідає ста грамам його ваги, визначається виразом

$$V_{M100} = S_M H_{M100}, \quad (3.90)$$

де H_{M100} – рівень молока у молокоприймальній камері, який відповідає ста грамам його ваги.

Алгоритм контролю часу припуску молока такий. Через двадцять секунд після початку доїння здійснюється вимірювання об'єму молока у молокоприймальній камері. Якщо виміряне у цей момент часу значення об'єму молока більше або дорівнює V_{M100} , вважається, що час припуску відповідає нормі.

3.6 Вимірювання кількості порцій молока та виявлення вмісту води у молоці на стійлових доїльних установках

Сстійлова доїльна установка забезпечує машинне доїння корів у стійлах, транспортування молока по молокопроводу в молокоприймальну ємність, фільтрацію молока і його перекачування з молокоприймальної ємності в охолоджувальну або перемішувальну установку за допомогою молочного насоса. 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 всмок-

тується в молокоприймальну ємність, звідки попадає в автоматичну мішалку або холодильну установку. Заробітна плата доярам нараховується у відповідності з кількістю порцій молока, які сформував дозатор, і які підраховуються спеціальними лічильниками порцій молока. Основними елементами дозатора молока є молокоприймач з поплавком, кришка та чаша. З'єднання чаші з лінією введення молока в молокоприймач забезпечується за допомогою гнучкого шланга. Поплавок може переміщуватися у вертикальному напрямку і жорстко зв'язаний з зливним клапаном. Молоко через патрубок у кришці надходить у молокоприймач, і далі, через отвір у перегородці, попадає в чашу. При наповненні чаші і нижньої частини молокоприймача піднімається поплавок і встановлює клапан у верхнє положення. Атмосферний тиск через отвір надходить у чашу, щільно притискає клапан до перегородки, закриває її отвір і витісняє через нижній шланг порцію молока в молокопровід. Після повного відсмоктування порції молока поплавок під власною вагою опускається і встановлюється в початкове положення. Дозатор молока під час доїння працює автоматично, але спорожнювання останньої порції здійснюється вручну, шляхом підняття поплавка вгору. Пропускна здатність такого дозатора складає $P_{DM} = 10$ л/хв. При наявності високопродуктивних тварин, на стійлових доїльних установках використовують дозатор молока з електромагнітним зливним клапаном, управління яким здійснюється за допомогою БУДМ, пропускна здатність такого дозатора складає $P_{DM} = 12$ л/хв.

У теперішній час, на стійлових доїльних установках з молокопроводом, використовуються лічильники порцій молока з давачем, принцип дії якого такий [193]. Після проходження порції молока від дозатора через зливний клапан, молоко потрапляє у гнучкий шланг. У перетині шлангу розташована трубка з вмонтованими електродами. При проходженні порції молока через трубку, між електродами змінюється електропровідність, що є ознакою спрацьовування дозатора. При зміні електропровідності давач формує сигнал напруги, що прямо пропорційний значенню електропровідності, і тривалість якого дорівнює тривалості проходження порції молока. На основі результатів вимірювання амплітудних параметрів та тривалості цього сигналу встановлюється факт проходження порції. При використанні цього давача, за наявності води у молоці, зміни температури, спінювання молока, значно збільшується похибка первинного перетворення електропровідності. Це приводить до того, що лічильник порцій починає вести себе

непередбачувано – пропускає деякі порції, або рахує порції за їх відсутності.

Також для підрахунку порцій молока використовується оптичний давач [193], принцип дії якого такий. Порція молока проходить через трубку, в яку вмонтовано інфрачервоний світлодіод та інфрачервоний фототранзистор, який працює в ключовому режимі. При проходженні порції молока відбувається переривання світлового потоку, в результаті чого на виході фототранзистора формується імпульс певної тривалості. На основі результатів вимірювання тривалості вихідного сигналу фототранзистора встановлюється факт проходження порції молока. У цьому випадку, при спінюванні молока, на виході фототранзистора з'являється випадкова послідовність коротких імпульсів, яка фактично є шумовою складовою, що додається до корисного сигналу. Внаслідок цього, в багатьох випадках збільшується похибка вимірювання тривалості вихідного сигналу фототранзистора, і відповідно, похибка підрахунку порцій молока.

Також тривалість та форма вихідного сигналу вищевказаних давачів залежить від забруднення зливного отвору та інших складових елементів дозатора, конфігурації молокопроводу, ступеню спінювання молока, тривалості зворотного зливу, забрудненості елементів давача, що теж приводить до збільшення похибки підрахунку порцій.

У роботах [194–200] запропоновано та розглянуто лічильник порцій молока, сформованих дозатором, з функцією виявлення води у молоці. Розглянемо його принцип дії та структурну схему, яка наведена на рис. 3.17.

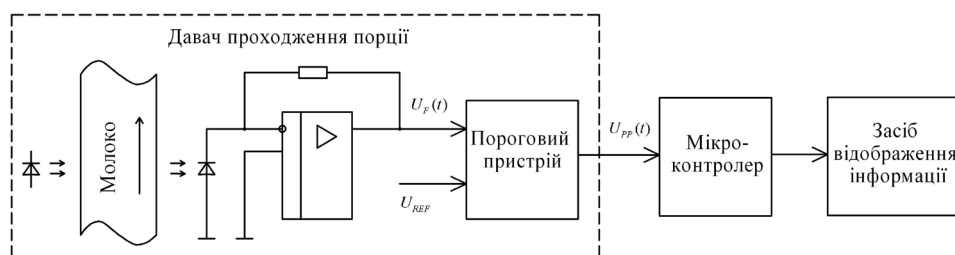


Рисунок 3.17 – Структурна схема лічильника порцій молока, сформованих дозатором, з функцією виявлення води у молоці

До складу давача проходження порції входить трубка, 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. На рис.

3.18 наведено часові діаграми, які пояснюють роботу лічильника порцій молока з функцією виявлення води у молоці. Вихідний сигнал фотоприймача поступає на вхід порогового пристрою, за допомогою якого він порівнюється з певною опорною напругою U_{REF} . Вихідний сигнал порогового пристрою $U_{PP}(t)$ надходить на дискретний вхід мікроконтролера, за допомогою якого вимірюється тривалість цього сигналу.

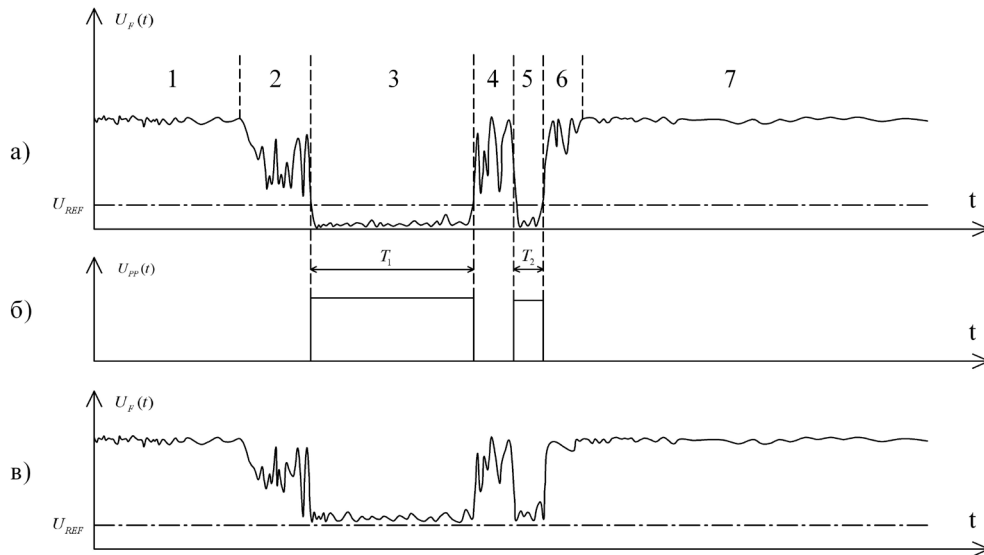


Рисунок 3.18 – Часові діаграми роботи лічильника порцій молока, з функцією виявлення води у молоці: *a* – часова діаграма вихідної напруги фотоприймача, при проходженні порції молока без вмісту води; *б* – часова діаграма вихідної напруги порогового пристрою, при проходженні порції молока без вмісту води; *в* – часова діаграма вихідної напруги фотоприймача, при проходженні порції молока з водою

На основі результатів вимірювання тривалості встановлюється факт проходження порції молока, інформація про кількість підрахованих порцій візуалізується за допомогою засобу відображення інформації. Розглянемо рис. 3.18,а, на якому наведено часову діаграму вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач при проходженні порції молока, у якій відсутня вода. На цьому графіку виділено сім ділянок. Перша ділянка відповідає відсутності молока в трубці, флуктуації вихідної напруги фотоприймача зумовлені стіканням крапель молока. Друга ділянка відповідає проходженню через трубку давача піни, яка завжди виникає перед проходженням порції молока. Третя ділянка відповідає проходженню порції молока, сформованої дозатором, через трубку давача. У цьому випадку вихідна напруга фотоприймача значно зменшується внаслідок переривання потоку інфрачервоного випромінювання, флуктуації

вихідної напруги фотоприймача зумовлені наявністю незначної кількості піни та бульбашок повітря. Четверта ділянка відповідає проходженню через давач піни, яка утворюється наприкінці проходження порції. Виникнення п'ятої ділянки зумовлено тим, що невелика частина порції молока не всмоктується в молокопровід і зливається в зворотному напрямку. Шоста ділянка наведеної залежності зумовлена наявністю невеликої кількості піни, яка йде за частиною порції, що зливається у зворотному напрямку. Сьома ділянка графіка, як і перша, відповідає відсутності молока у трубці давача. Розглянемо рис. 3.18б, на якому наведена часова діаграма вихідної напруги порогового пристрою при проходженні порції молока, у якій відсутня вода. Цей сигнал складається з двох прямокутних імпульсів тривалістю T_1 та T_2 , які формуються тоді, коли вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач $U_F(t)$ менша ніж опорна напруга U_{REF} . Імпульс тривалістю T_1 відповідає проходженню порції молока від дозатора через давач, другий імпульс тривалістю T_2 відповідає зворотному зливу молока. Значення T_1 та T_2 залежать від забруднення дозатора та його елементів, висоти розташування та конфігурації молокопроводу, вакуумного режиму молокопроводу, об'єму порції молока (дозатор в більшості випадків налаштовується на спрацьовування при накопичуванні 1 л молока). Інформативним з точки зору ідентифікації проходження порції є тільки перший імпульс вихідного сигналу порогового пристрою. Тривалість цього імпульсу T_1 , при об'ємі порції 1 л, знаходиться в межах від $T_{1\ MIN} = 3,2$ с до $T_{1\ MAX} = 4,6$ с [193]. Виходячи з цього, критерієм ідентифікації проходження порції є досягнення тривалості першого імпульсу вихідного сигналу порогового пристрою значення $T_{1\ MIN}$, тобто

$$T_1 = T_{1\ MIN} . \quad (3.91)$$

Після ідентифікації проходження порції молока та її зарахування програмно формується часовий інтервал T_z , під час якого вихідний сигнал порогового пристрою не аналізується. Це необхідно для того, щоб зворотний злив або інші фактори, зумовлені стіканням молока, не спровокували зарахування додаткової порції. Є очевидним, що сума тривалості мінімального часового інтервалу проходження порції $T_{1\ MIN}$ та часового інтервалу T_z не повинна перевищувати тривалість мінімального часового інтервалу між сформованими дозатором порціями $T_{DMP\ MIN}$, яка визначається виразом

$$T_{DMP\ MIN} = 1/P_{DM} . \quad (3.92)$$

Виходячи з цього

$$T_Z = T_{DMP\ MIN} - T_{1\ MIN} = 1/P_{DM} - T_{1\ MIN} \quad (3.93)$$

При наявності вмісту води у молоці, прозорість молока для інфрачервоного випромінювання збільшується, відповідно, збільшується напруга на виході фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач. Невелику кількість води у молоці, на основі вимірювання вихідної напруги фотоприймача, виявити неможливо внаслідок проходження певної кількості інфрачервоного випромінювання через шар молока без домішок, відбиття інфрачервоного випромінювання, дифракції випромінювання та його розсіювання шариками жиру, немонохроматичності джерела інфрачервоного випромінювання. Виходячи з цього, значення опорної напруги U_{REF} , яке відповідає певному значенню масової частки молока у водно-молочному розчині, залежить від великої кількості випадкових факторів та встановлюється експериментально. Розглянемо рис. 3.18,в, на якому наведена часова діаграма вихідної напруги фотоприймача, при проходженні порції, у якій присутня вода. У разі наявності певного вмісту води в молоці, вихідний сигнал лінійного фотоприймача буде більшим, ніж опорна напруга U_{REF} . В результаті, на виході порогового пристрою не буде формуватись імпульс, який відповідає проходженню порції молока, яка сформована дозатором. Внаслідок цього, відповідна порція молока із значним вмістом води зарахована не буде. У випадку, якщо середній рівень вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, близький до опорної напруги U_{REF} , на виході порогового пристрою може виникати послідовність прямокутних імпульсів випадкової тривалості, як показано на рис. 3.19.

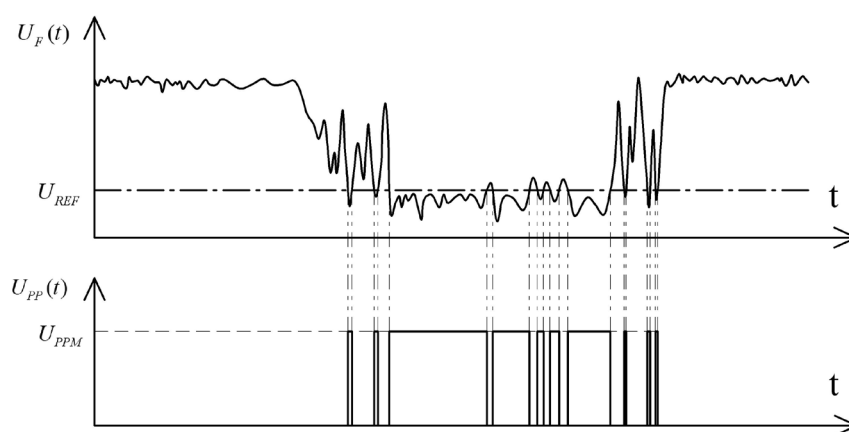


Рисунок 3.19 – Часові діаграми роботи лічильника порцій молока, з функцією виявлення води у молоці, при середньому рівні вихідної напруги фотоприймача, близькому до значення опорної напруги

Виходячи з наявності випадкової складової вихідного сигналу фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, вихідний сигнал порогового пристрою $U_{PP}(t)$ можна розглядати як суміш двох сигналів – корисного прямокутного імпульсу $s_{PM}(t)$ та випадкового некорельованого імпульсного сигналу $s_{PN}(t)$. Проходження порції молока ідентифікується шляхом виявлення корисного прямокутного імпульсу $s_{PM}(t)$ на фоні шумового сигналу $s_{PN}(t)$. Випадкову імпульсну послідовність $s_{PN}(t)$, у відповідності з [117, 157], можна вважати некорельованою, та такою, що має рівномірний енергетичний спектр в певній смузі частот, що дає підстави розглядати її як білий шум. Для підвищення достовірності ідентифікації проходження через давач порції, яка сформована дозатором, пропонується використати оптимальну лінійну фільтрацію, за допомогою якої забезпечується максимізація відношення сигнал–шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу. Лінійний оптимальний фільтр, у цьому випадку, за своєю структурою буде аналогічний фільтра, який розглянуто у підрозділі 3.3. Розглянемо рис. 3.20, на якому наведено структурну схему лічильника порцій молока для стійлової доїльної установки, з функцією виявлення води у молоці, та у якому використовується лінійний оптимальний фільтр.

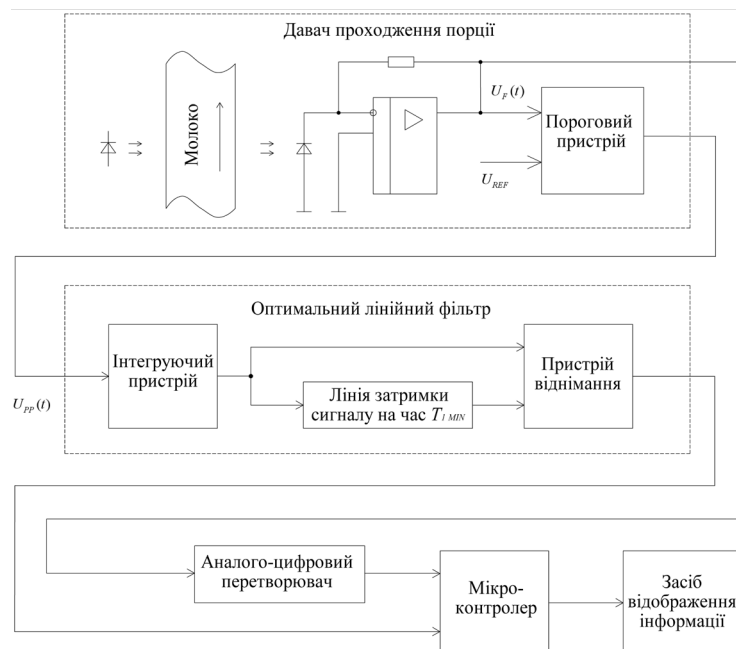


Рисунок 3.20 – Структурна схема лічильника порцій молока для стійлової доїльної установки, з використанням оптимальної лінійної фільтрації та функцією виявлення води у молоці

Оптимальний лінійний фільтр, що входить до складу наведеного лічильника порцій молока, узгоджений з прямокутним імпульсом тривалістю $T_{1\text{ MIN}}$. Якщо тривалість проходження порції молока, сформованої дозатором, дорівнює або більша $T_{1\text{ MIN}}$, то пікове значення вихідного сигналу оптимального лінійного фільтра визначається виразом [159, 161]

$$s_{PPM} = U_{PPM} \cdot T_{1\text{ MIN}}, \quad (3.94)$$

де U_{PPM} – амплітудне значення вихідного сигналу порогового пристрою.

Відношення сигнал–шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра, у цьому випадку має максимальне значення та визначається виразом

$$R_{PPM} = \frac{U_{PPM} \cdot T_{1\text{ MIN}}}{\sigma_{PN}}, \quad (3.95)$$

де σ_{PN} – середньоквадратичне значення шумового сигналу $s_{PN}(t)$.

Сучасний лінійний оптимальний фільтр реалізується на основі мікроконтролера або сигнального процесора, його функціонування забезпечується за допомогою методів цифрової обробки сигналів в режимі реального часу. В моменти часу $t_1, t_2, t_3 \dots$ визначаються коди миттєвих значень вихідного сигналу порогового пристрою $U_{PP}(t_1), U_{PP}(t_2), U_{PP}(t_3) \dots$, на основі отриманих значень визначається інтерполююча функція $s_{PP}(t)$. Після цього обчислюються функції

$$s_{IPP}(t) = \int_0^t s_{PP}(t) dt, \quad (3.96)$$

та

$$s_{DIPP}(t) = s_{IPP}(t - T_{1\text{ MIN}}), \quad (3.97)$$

Ознакою наявності сигналу, який відповідає проходженню порції молока, є виконання рівності

$$U_{PPM} \cdot T_{1\text{ MIN}} = s_{IPP}(t) - s_{DIPP}(t). \quad (3.98)$$

У наведеному лічильнику, вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра, який являє собою певний код, передається до мікроконтролера, за допомогою якого його значення порівнюється з значенням s_{PPM} . Факт досягнення вихідним сигналом лінійного оптимального фільтра значення s_{PPM} є ознакою проходження порції молока, сформованої дозатором. Після зарахування порції, як і у попередньому випадку, програмно формується часовий інтервал T_z , під час якого вихідний сигнал порогового пристрою не аналізується.

Якщо кількість води у молоці буде перевищувати певний пороговий рівень, порція молока зараховуватися не буде.

3.7 Фотоелектричний ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі

Доїльний апарат з функцією керування процесом доїння, змінюючи режими пульсацій вакууму в залежності від інтенсивності молоковіддачі, налаштовується на фізіологічні особливості конкретної тварини. Вимірюючи інтенсивність молоковіддачі і здійснюючи у відповідності з її значенням управління процесом доїння, можна забезпечити його наближення до оптимального. При прив'язному утриманні, на стійлових доїльних установках, індивідуальний удій та інші зоотехнічні параметри тварин як правило не вимірюються. У цьому випадку, перспективним є непряме вимірювання цих параметрів на основі результатів прямого вимірювання інтенсивності молоковіддачі, результати якого використовуються для управління процесом доїння. Розглянемо запропонований фотоелектричний ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі [44, 201–203], структурна схема якого наведена на рис. 3.21, а часові діаграми роботи – на рис. 3.22. В процесі доїння молоко з колектора доїльного апарата на шляху до молокопроводу проходить через шланг, у якому закріплений фотоелектричний ВП інтенсивності молочного потоку. ВП складається з двох джерел інфрачервоного випромінювання, які знаходяться з однієї сторони його трубки, двох фотоприймачів F1 та F2 на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, які знаходяться на протилежній стороні трубки, двох порогових пристроїв С1 та С2 з великим значенням гістерезису, мікроконтролера.

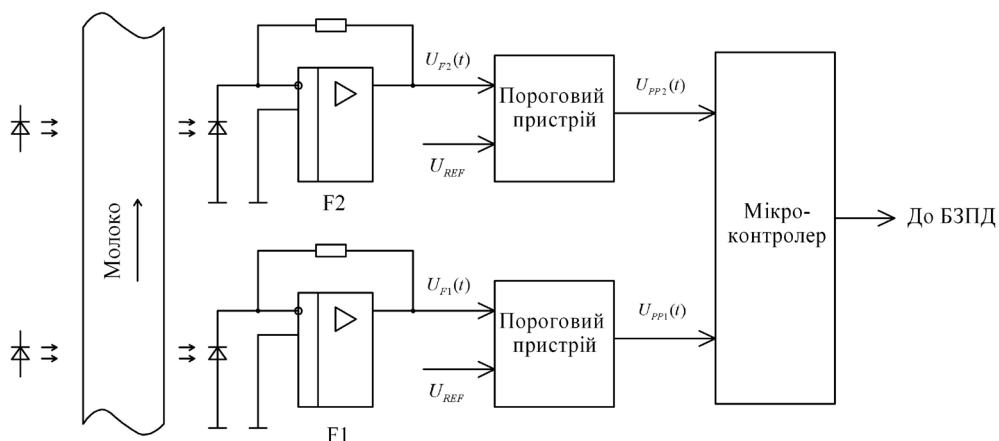


Рисунок 3.21 – Структурна схема фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі

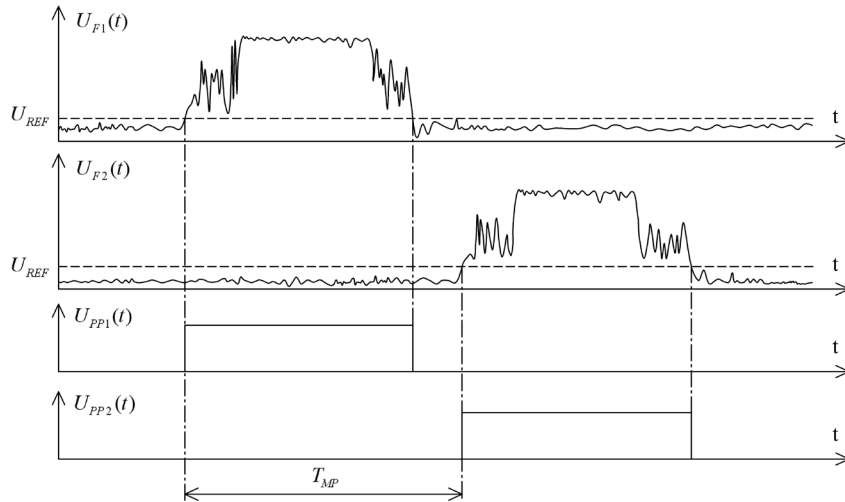


Рисунок 3.22 – Часові діаграми роботи фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі

Молоко, яке протікає через трубку ВП, завжди має бульбашки повітря (піну). При проходженні через трубку молока з піною, потік інфрачервоного випромінювання проходить крізь певну бульбашку повітря і потрапляє на фотоприймач F1. В результаті його вихідна напруга $U_{F1}(t)$ збільшується, за допомогою порогового пристрою С1 вона порівнюється з напругою U_{REF} . На виході порогового пристрою С1, протягом часового проміжку, коли $U_{F1}(t) > U_{REF}$, формується прямокутний імпульс $U_{PP1}(t)$, який надходить на дискретний вхід мікроконтролера. Після цього, вказана вище бульбашка, рухаючись разом з молочним потоком, проходить навпроти фотоприймача F2. Внаслідок цього вихідна напруга $U_{F2}(t)$ збільшується. Пороговий пристрій С2 порівнює напругу $U_{F2}(t)$ з U_{REF} , в результаті на його виході, коли $U_{F2}(t) > U_{REF}$, формується прямокутний імпульс $U_{PP2}(t)$, який надходить на інший вхід мікроконтролера. За допомогою мікроконтролера здійснюється вимірювання часового інтервалу T_{MP} між передніми фронтами імпульсів $U_{PP1}(t)$ та $U_{PP2}(t)$. Цей часовий інтервал відповідає проходженню бульбашкою повітря відстані l_{MP} між двома фотоприймачами. Об'єм i -ї порції молока, яка відповідає проходженню бульбашкою повітря відстані l_{MP} , визначається виразом

$$V_{MP\ i} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4} l_{MP}, \quad (3.99)$$

де D_{MP} – діаметр трубки давача інтенсивності молоковіддачі.

Відповідно, миттєва інтенсивність молоковіддачі під час проходження i -ї бульбашки повітря, визначається виразом

$$I_{MV i} = \frac{V_{MP}}{T_{MP i}} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4T_{MP i}} l_{MP}. \quad (3.100)$$

Визначене за допомогою мікроконтролера миттєве значення інтенсивності молоковіддачі передається до БЗПД. У багатьох доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння існує певна кількість режимів роботи, зміна яких відбувається за досягненням миттєвої інтенсивності молоковіддачі певних значень [2, 17, 39], тобто здійснюється дискретне управління процесом доїння. В результаті експериментальних досліджень ВП інтенсивності молоковіддачі встановлено, що його похибка перетворення складає 15–20 % та розподілена за нормальним законом. Досягнута точність вимірювального перетворення достатня для забезпечення робастного керування процесом доїння. За допомогою розглянутого ВП можливе непряме вимірювання інших параметрів БТСД, внаслідок великого значення похибки первинного перетворення, точність вимірювання цих параметрів невисока. Розглянемо вимірювання разового удою тварини при використанні з ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі. Протягом процесу доїння вимірюється поточний час та проводиться N_{MP} вимірювань миттєвої інтенсивності молоковіддачі $I_{MV i}, I_{MV i+1} \dots I_{MV N_{MP}}$ в певні моменти часу $t_i, t_{i+1} \dots t_{N_{MP}}$. Проведемо кусочно–лінійну інтерполяцію результатів вимірювання залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу (рис. 3.23). Кусочно–лінійна інтерполуюча функція, яка наведена на рис. 3.23, визначається виразом

$$I_{MVI}(t) = \begin{cases} \frac{I_{MV 2} - I_{MV 1}}{t_2 - t_1} t + I_{MV 1} - \frac{I_{MV 2} - I_{MV 1}}{t_2 - t_1} t_1, & t \in [t_1, t_2]; \\ \dots \\ \frac{I_{MV i+1} - I_{MV i}}{t_{i+1} - t_i} t + I_{MV i} - \frac{I_{MV i+1} - I_{MV i}}{t_{i+1} - t_i} t_i, & t \in [t_i, t_{i+1}]; \\ \dots \\ \frac{I_{MV N_{MP}} - I_{MV N_{MP}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}} t + I_{MV N_{MP}-1} - \frac{I_{MV N_{MP}} - I_{MV N_{MP}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}} t_{N_{MP}-1}, & t \in [t_{N_{MP}-1}, t_{N_{MP}}]. \end{cases} \quad (3.101)$$

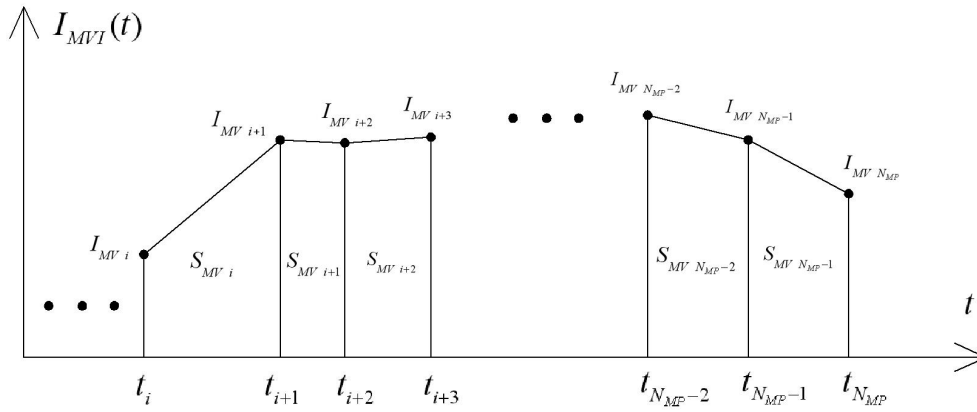


Рисунок 3.23 – Кусочно–лінійна інтерполяцію результатів вимірювання залежності інтенсивності молоковіддачі від часу

Інтенсивність молоковіддачі є першою похідною залежності удою від часу. Виходячи з цього, після нескладних перетворень отримуємо вираз, який визначає разовий удій тварини протягом одного доїння

$$V_R = \int_0^{t_{N_{MP}}} I_{MVI}(t) dt = \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} S_{MV^i} = \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} \frac{I_{MV^{i+1}} + I_{MV^i}}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (3.102)$$

де S_{MV^i} – площини, обмежені кусочно-лінійними інтерполюючими функціями та віссю абсцис.

Розглянемо рис. 3.24, за допомогою якого пояснюється визначення поточного удою тварини у довільний момент t_{RP} протягом доїння.

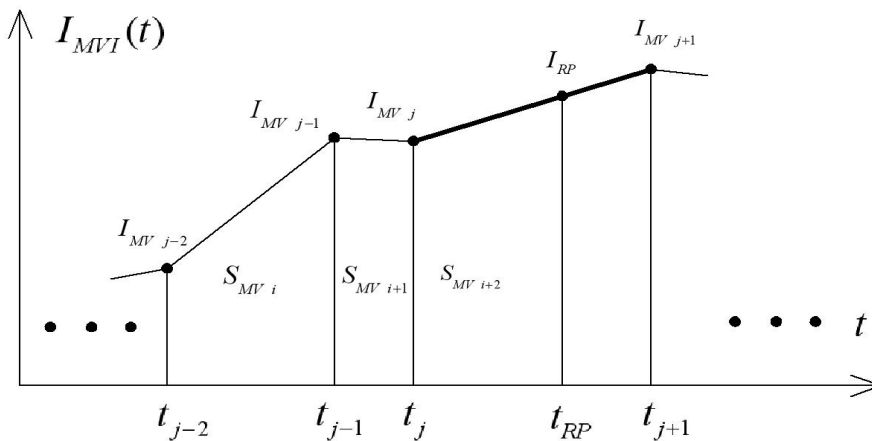


Рисунок 3.24 – Визначення поточного удою тварини в довільний момент часу протягом доїння

Як бачимо з рис. 3.24, поточний удій тварини у довільний момент часу $t_{RP} \in (t_j, t_{j+1})$ визначається виразом

$$\begin{aligned}
V_{RP}(t_{RP}) &= \int_0^{t_{RP}} I_{MVI}(t) dt = \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV\ i+1} + I_{MV\ i}}{2} (t_{i+1} - t_i) + \\
&+ \int_{t_j}^{t_{RP}} \left(\frac{I_{MV\ j+1} - I_{MV\ j}}{t_{j+1} - t_j} t + I_{MV\ j} - \frac{I_{MV\ j+1} - I_{MV\ j}}{t_{j+1} - t_j} t_j \right) dt = \quad (3.103) \\
&= \frac{I_{MV\ j} + I_{RP}}{2} (t_{RP} - t_j) + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV\ i+1} + I_{MV\ i}}{2} (t_{i+1} - t_i),
\end{aligned}$$

де I_{RP} – значення інтерполюючої функції $I_{MVI}(t)$, яка визначається виразом (3.101), в момент часу t_{RP}

$$I_{RP} = \frac{I_{MV\ j+1} - I_{MV\ j}}{t_{j+1} - t_j} t_{RP} + I_{MV\ j} - \frac{I_{MV\ j+1} - I_{MV\ j}}{t_{j+1} - t_j} t_j. \quad (3.104)$$

Підставивши (3.104) в (3.103), після нескладних перетворень отримуємо кінцевий вираз для визначення поточного удою тварини у довільний момент часу $t_{RP} \in (t_j, t_{j+1})$ на основі результатів вимірювання інтенсивності молоковіддачі протягом доїння

$$V_{RP}(t_{RP}) = \frac{1}{2} \left(2I_{MV\ j} (t_{RP} - t_j) + \frac{I_{MV\ j+1} - I_{MV\ j}}{t_{j+1} - t_j} (t_{RP} - t_j)^2 \right) + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV\ i+1} + I_{MV\ i}}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (3.105)$$

На основі результатів вимірювання поточного удою в довільний момент часу визначаються інші параметри БТСД. Середня інтенсивність молоковіддачі I_{MS} визначається за виразом (3.85), параметри I_{30} , I_{60} та I_{90} визначаються відповідно за виразами (3.86)–(3.88), після того, як за виразом (3.105) буде визначений удій у відповідні моменти часу. При здійсненні контролю часу припуску, за виразом (3.105) визначається поточний удій через двадцять секунд після початку доїння.

3.8 ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом

Використання фотоелектричного ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом на стійлових доїльних установках недоцільне, тому що не забезпечується жорстке кріплення доїльних апаратів у вертикальному положенні. Внаслідок цього, пульсація вакуумних шлангів та різні вібрації і рухи, що пов'язані з технологічним процесом доїння, передаються до молокоприймальної камери апарата. Ці фактори призводять до значного збільшення похибки вимірювання рівня. На стійловій доїльній установці основним завданням БЗПД є забезпечення управління процесом доїння, яке вирішується на основі вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі, її високоточне вимірювання для цього не потрібне.

Виходячи з цього, виникає необхідність розробки спеціалізованих первинних ВП рівня молока для стійлової доїльної установки, за допомогою яких можливе забезпечення управління процесом доїння та отримання інформації про певні параметри БТСД. Розглянемо рис. 3.25, на якому наведено схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата з ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі магнітоактивних елементів (МАЕ) [204].

Молоко з колектора доїльного апарата, під дією вакууму, всмоктується через піновідділювач до молокоприймальної камери. У молокоприймальній камері, в герметичній трубці, у вертикальному напрямку, один за одним розташовано N_{LM} МАЕ, які являють собою елементи Хола або магніторезистори. В процесі доїння, рівень молока в камері збільшується, в результаті, поплавковий магніт змінює своє вертикальне положення у відповідності з рівнем молока. Після досягнення певного порогового рівня, через зливний клапан накопичене в камері молоко скидається у молокопровід. Пороговий рівень, при якому здійснюється скидання молока, встановлюється в залежності від інтенсивності молоковіддачі. Коли певний МАЕ знаходиться в безпосередній близькості від магніту з поплавком, змінюються його параметри (у магніторезистора змінюється опір, у елемента Хола – вихідна напруга). Вихідні параметри усіх МАЕ за допомогою відповідних перетворювачів трансформуються у логічні рівні. Якщо i -й МАЕ активований, то на виході n_i i -го перетворювача параметрів МАЕ з'являється рівень логічної одиниці, в протилежному випадку – рівень логічного нуля. Таким чином, логічними рівнями вихідних сигналів перетворювачів параметрів МАЕ $n_1 - n_{N_{LM}}$ утворюється код N_{HM} , який має N_{LM} розрядів, значення якого визначає вертикальне положення поплавка з магнітом, нижня границя якого збігається з рівнем молока у молокоприймальній камері. Розглянемо рис. 3.26, на якому наведено варіанти взаємного розташування МАЕ та поплавка з магнітом.

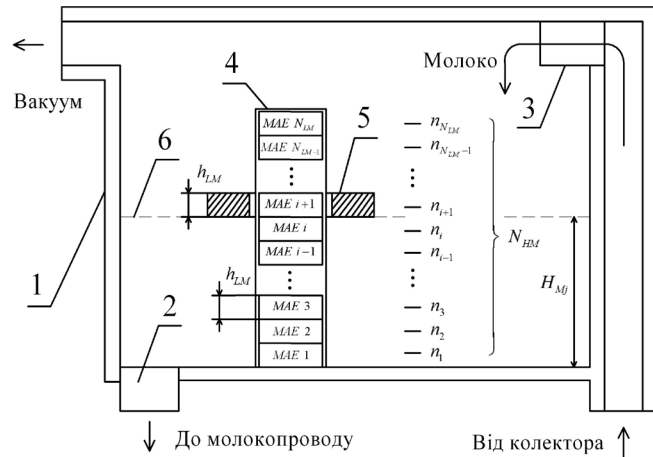


Рисунок 3.25 – Схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата з ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом, на основі МАЕ: 1 – корпус камери; 2 – зливний електроклапан; 3 – піновідділювач; 4 – МАЕ; 5 – поплавковий магніт; 6 – рівень молока

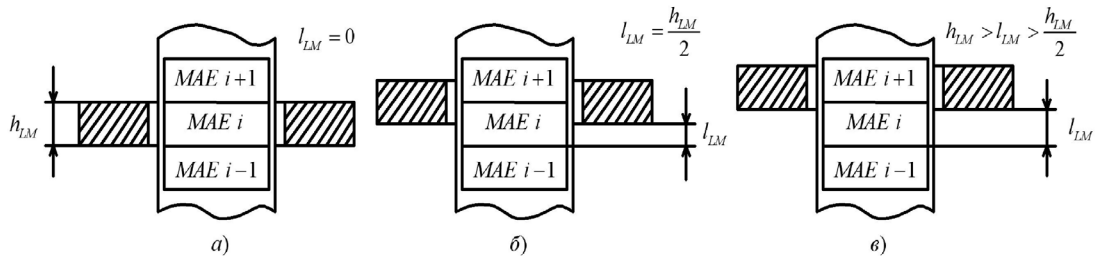


Рисунок 3.26 – Варіанти взаємного розташування
МАЕ та поплавка з магнітом

Ширина чутливої зони МАЕ та товщина кільцевого магніту рівні між собою та дорівнюють h_{LM} (див. рис. 3.25 та 3.26). Конструктивні параметри кільцевого магніту та МАЕ забезпечені такими, що при нульовому зміщенні l_{LM} нижньої границі магніту відносно нижньої границі чутливої зони i -го МАЕ (див. рис. 3.26,а), $n_{i-1} = 0$, $n_i = 1$, $n_{i+1} = 0$, якщо $l_{LM} = h_{LM}/2$ (див. рис. 3.26,б), то $n_{i-1} = 0$, $n_i = 1$, $n_{i+1} = 1$, коли $h_{LM} > l_{LM} > h_{LM}/2$ (див. рис. 3.26,в), то $n_{i-1} = 0$, $n_i = 0$, $n_{i+1} = 1$. Виходячи цього, рівень j -ї порції молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, при використанні ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, визначається виразом

$$H_{Mj} = \begin{cases} (k_{LM} - 1)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 1; \\ \left(k_{NM} - \frac{1}{2}\right)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 2, \end{cases} \quad (3.106)$$

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

ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ можна розглядати як АЦП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата. Як слідує з виразу (3.106), величина номінального кванту перетворення, у цьому випадку, визначається виразом

$$q_{LM} = \frac{h_{LM}}{2}. \quad (3.107)$$

Як відомо [205, 206], максимальне значення похибки квантування АЦП визначається як модуль половини номінального кванта перетворення. Виходячи з цього, максимальне значення похибки квантування ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ визначається виразом

$$\Delta_{LMK} = \frac{q_{LM}}{2} = \frac{h_{LM}}{4}. \quad (3.108)$$

Основною перевагою розглянутого ВП, у порівнянні з фотоелектричними ВП рівня молока є те, що якість промивки доїльного обладнання практично не впливає на його технічні характеристики.

Також можливий варіант фотоелектричного ВП рівня молока у молокоприймальній камері з дискретним вихідним сигналом. Розглянемо його схематичне креслення, яке наведено на рис. 3.27. Як і у попередньо розглянутому ВП, молоко з колектора доїльного апарата, під дією вакууму, всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У молокоприймальній камері, в герметичних прозорих трубках, у вертикальному напрямку, один за одним розташовано N_{LF} інфрачервоних світлодіодів та фототранзисторів. При збільшенні рівня молока у камері в процесі доїння, відбувається перекриття молоком фоточутливого шару фототранзисторів, в результаті потік інфрачервоного випромінювання на нього не попадає. Фототранзистори працюють у ключовому режимі, схемотехнічно, транзисторні ключі на основі фототранзисторів реалізовані так, що при попаданні на їх фоточутливий шар певного потоку інфрачервоного випромінювання, на виході транзисторного ключа формується рівень логічного нуля, в протилежному випадку – рівень логічної одиниці [207]. 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} ВП, який має N_{LF} розрядів і значення якого визначає рівень молока у молокоприймальній камері. Як і у попередньо розглянутому ВП, після досягнення певного порогового рівня, накопичене в камері молоко

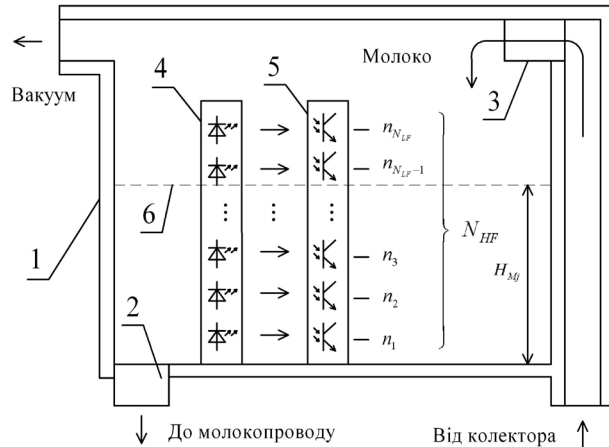


Рисунок 3.27 – Схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарату з фотоелектричним ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом: 1 – корпус камери; 2 – зливний електроклапан; 3 – піновідділювач; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5 – фототранзистори, що працюють в ключовому режимі; 6 – рівень молока

скидається у молокопровід, відповідний пороговий рівень встановлюється в залежності від інтенсивності молоковіддачі.

Розглянемо рис. 3.28, на якому наведено конструктивне креслення розташування фототранзисторів ВП у молокоприймальній камері доїльного апарата. Фототранзистори $T_1, T_2 \dots T_{N_{LF}}$ мають діаметр або висоту fotocутливого шару d_{TK} , відстань від нижньої границі fotocутливого шару першого знизу фототранзистора T_1 до дна молокоприймальної камери дорівняє $d_{TK}/2$. Схематично, 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, тобто, коли відстань від рівня молока до нижньої границі fotocутливого шару будь-якого з фототранзисторів дорівняє $d_{TK}/2$ [208]. У цьому випадку, рівень j -ї порції молока у молокоприймальній камері, при використанні фотоелектричного ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом, визначається виразом

$$H_{Mj} = d_{TK} \sum_{i=1}^{N_{LF}} n_i. \quad (3.109)$$

Фотоелектричний ВП з дискретним вихідним сигналом також можна розглядати як АЦП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата. Величина номінального кванта перетворення, який є мінімальним приростом рівня, при якому змінюється вихідний код ВП, визначається виразом

$$q_{LF} = d_{TK}. \quad (3.110)$$

Максимальне значення похибки квантування АЦП визначається як модуль половини номінального кванта перетворення [205, 206]. Таким чином, максимальне значення похибки квантування фотоелектричного ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом визначається виразом

$$\Delta_{LF K} = \frac{q_{LF}}{2} = \frac{d_{TK}}{2}. \quad (3.111)$$

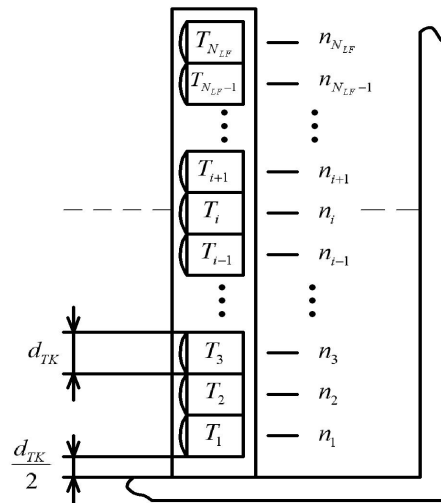


Рисунок 3.28 – Конструктивне креслення розташування фототранзисторів у молокоприймальній камері

При використанні обох розглянутих ВП з дискретним вихідним сигналом, об'єм кожної порції молока визначається за виразом (3.83), разовий удій V_R та поточний удій V_{M100} визначаються за виразами (3.84) та (3.90), параметри I_{30} , I_{60} та I_{90} визначаються відповідно за виразами (3.86)–(3.88), параметри I_{MS} та I_{MV} – за виразами (3.85) та (3.89).

3.9 Висновки

1. При радіочастотній ідентифікації тварин під час руху на групових доїльних установках, можливі помилки, внаслідок виникнення яких втрачається вимірювальна інформація, яка стосується усіх тварин групи. Актуальним є підвищення надійності систем радіочастотної ідентифікації на групових доїльних установках.

2. Застосування одноконтурних антен у системах радіочастотної ідентифікації не забезпечує достатню надійність ідентифікації рухомих тварини. Використання двоконтурної антенної системи ЗТ дозволяє суттєво розширити його робочу зону і збільшити надійність ідентифікації.

3. Найбільш перспективним варіантом системи ідентифікації рухомих тварин для групових доїльних установок є система на основі ЗТ великого радіуса дії та БППГ, який забезпечує ідентифікацію факту проходження тварин та їх підрахунок на основі оптимальної лінійної фільтрації.

4. Створено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворення площа–напруга при використанні фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач. Перспективним є використання такого перетворення для реалізації ЗВ та контролю параметрів БТСД.

5. Запропоновано фотоелектричний первинний ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата, принцип дії якого заснований на фотоелектричному перетворенні площа–напруга, та ЗВ параметрів БТСД на його основі.

6. Розроблено ЗВ кількості порцій молока, сформованих дозатором на стійловій доїльній установці, у якому ідентифікація проходження порції здійснюється з використанням оптимальної лінійної фільтрації, та наявна функція виявлення води у молоці.

7. Створено фотоелектричний ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, принцип дії якого заснований на вимірюванні швидкості руху бульбашок повітря у молочному потоці.

8. Запропоновано фотоелектричний ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом, та ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ. Ці ВП призначені для використання у переносних доїльних апаратах стійлових установок, на їх основі можливе створення засобів вимірювального контролю параметрів БТСД.

4 ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД

4.1 Достовірність вимірювального контролю тривалості роботи доїльних установок та доярів

Помилки вимірювального контролю та загальна імовірність прийняття помилкового рішення визначаються таким чином [209, 210]. Помилка першого роду або «хибна тривога», є імовірністю того, що коли контрольований параметр відповідає нормі, результатом контролю буде інформація про те, що параметр не відповідає нормі. Помилка першого роду, у загальному вигляді, визначається за виразом

$$\alpha_K = \int_{-k_a \Delta_K}^{\Delta_K} \left(\int_{-\infty}^{\bar{X}_2 - y} p(y, \Delta) d\Delta + \int_{\bar{X}_1 - y}^{\infty} p(y, \Delta) d\Delta \right) dy, \quad (4.1)$$

де Δ – похибка вимірювання; y – центроване значення контрольованого параметра; $p(y, \Delta)$ – сумісна щільність імовірності центрованого значення контрольованого параметра y та похибки вимірювання Δ ; Δ_K – допустиме відхилення контрольованого параметра; k_a – коефіцієнт асиметрії полів допуску; \bar{X}_1 та \bar{X}_2 – параметри, які визначаються співвідношеннями

$$\bar{X}_1 = \Delta_K + \bar{c}_2'' - \bar{c}_1, \quad (4.2)$$

$$\bar{X}_2 = -k_a \Delta_K - \bar{c}_2' - \bar{c}_1, \quad (4.3)$$

де \bar{c}_1 – математичне очікування похибки вимірювання, систематична похибка; \bar{c}_2' , \bar{c}_2'' – контрольні прирости полів допуску відповідно за нижньою та верхньою межами допуску.

Центроване значення контрольованого параметра визначається за виразом

$$y = y' - \bar{y}', \quad (4.4)$$

де y' – контрольований параметр; \bar{y}' – номінальне значення контрольованого параметра, його математичне очікування.

Сумісна двовимірна щільність імовірності двох безперервних випадкових величин за умови їх незалежності, у відповідності з [211], дорівнює добутку щільностей розподілу імовірності окремих величин, що входять до системи, тобто

$$p(y, \Delta) = p(\Delta) \cdot p(y). \quad (4.5)$$

Помилка другого роду або «пропуск сигналу», є імовірністю того, що коли контрольований параметр не відповідає нормі, результатом

вимірювального контролю буде інформація про те, що параметр відповідає нормі. Помилка другого роду, у загальному вигляді, визначається за виразом

$$\beta_K = \int_{-\infty}^{-k_a \Delta_K} \int_{\bar{X}_2 - y}^{\bar{X}_1 - y} p(y, \Delta) d\Delta dy + \int_{\Delta_K}^{\infty} \int_{\bar{X}_2 - y}^{\bar{X}_1 - y} p(y, \Delta) d\Delta dy. \quad (4.6)$$

Загальна імовірність прийняття помилкового рішення при вимірювальному контролі визначається виразом

$$P_0 = \alpha_K + \beta_K. \quad (4.7)$$

Тривалість роботи доїльної установки є важливим параметром БТСД, який характеризує відповідність стада або групи тварин селекційним та зоотехнічним вимогам, також цей параметр характеризує якість виконання доярами своїх обов'язків. Значення тривалості роботи будь-якої доїльної установки залежить від великої кількості факторів, до яких відноситься кваліфікація та відповідальність доярів, тип доїльної установки та її структура, наявність та кількість тугодійних тварин, породні особливості тварин, величина разового удою, період доби, у який здійснюється доїння, інші фактори, серед яких неможливо виділити домінуючий. На основі результатів, отриманих у другому розділі, та першої граничної теореми [117], можна вважати, що розподіл центрованого значення тривалості роботи будь-якої доїльної установки є нормальним з нульовим математичним очікуванням

$$p(\tilde{T}_U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\tilde{T}_U}} \exp\left(-\frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right), \quad (4.8)$$

де \tilde{T}_U – центроване значення тривалості роботи доїльної установки; $\sigma_{\tilde{T}_U}$ – СКВ центрованого значення тривалості роботи доїльної установки.

Центроване значення тривалості роботи доїльної установки визначається за виразом

$$\tilde{T}_U = T_U - T_{U\text{ NOM}}, \quad (4.9)$$

де $T_{U\text{ NOM}}$ – номінальне значення тривалості роботи доїльної установки.

Номінальне значення тривалості роботи доїльної установки є математичним очікуванням цього параметра. Для стійлової доїльної установки номінальне значення тривалості роботи визначається за виразами (2.59) та (2.61), для групових доїльних установок – за виразами (2.73) та (2.75), для доїльної установки з паралельно-прохідними станками – за виразами (2.82) та (2.84), для доїльної установки «Тандем» – за виразами (2.91) та (2.93), для конвеєрної доїльної установки – за виразом (2.98). Для будь-якої доїльної установки, за відсутності необ-

хідних статистичних даних, приблизно визначити номінальне значення тривалості роботи можна за виразом

$$T_{U\text{ NOM}} = K_T \cdot P_U, \quad (4.10)$$

де P_U – значення номінальної продуктивності доїльної установки, яке вказується у технічній документації та визначає номінальну кількість тварин, яку можна видоїти в одиницю часу.

Вимірювання тривалості роботи доїльної установки здійснюється при наявності ІВС ПБТСД за допомогою системного таймера сервера системи. Процес доїння на стійловій доїльній установці починається у момент початку підготовки до доїння першої тварини з усіх наявних груп. Закінчується цей процес у момент закінчення доїння останньої тварини з усіх наявних груп. На конвеєрній установці процес доїння починається у момент входу першої тварини стада у доїльний станок, закінчується цей процес у момент виходу останньої тварини стада з доїльного станка. На доїльній установці з паралельно-прохідними станками та установці «Тандем» процес доїння починається у момент входу першої тварини стада у доїльний станок, а закінчується у момент виходу останньої тварини стада зі станка. На групових доїльних установках процес доїння починається у момент початку входження першої групи тварин стада на сторону доїльної установки, закінчується цей процес у момент виходу з сторони установки останньої тварини стада. Вищевказані моменти початку та закінчення роботи установок не синхронізовані з сервером ІВС ПБТСД, вони фіксуються оператором у ручному режимі, або програмним забезпеченням сервера в автоматичному режимі на основі апріорної інформації про математичне очікування часу входу та виходу тварини або груп тварин. Виходячи з цього, вимірювання часу роботи доїльних установок відбувається з похибкою, яка залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий. Таким чином, враховуючи першу граничну теорему [117], є підстави припустити, що розподіл похибки вимірювання тривалості роботи доїльної установки є нормальним з нульовим математичним очікуванням та визначається виразом

$$p(\Delta_{T_U}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{T_U}} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2}\right), \quad (4.11)$$

де Δ_{T_U} – абсолютна похибка вимірювання тривалості роботи доїльної установки; σ_{T_U} – СКВ абсолютної похибки вимірювання тривалості роботи доїльної установки.

Тривалість роботи доїльної установки та абсолютна похибка вимірювання тривалості роботи доїльної установки є некорельованими випадковими величинами. Виходячи з цього, підставивши (4.11) та (4.8) в (4.5), отримуємо сумісний двовимірний закон розподілу контрольованого параметра та похибки його вимірювання

$$p(\Delta_{T_U}, \tilde{T}_U) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\tilde{T}_U}\sigma_{T_U}} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2} - \frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right). \quad (4.12)$$

Підставивши (4.12) в (4.1) та (4.6) та прийнявши, що коефіцієнт асиметрії полів допущень дорівнює одиниці, а абсолютна систематична похибка вимірювання тривалості роботи установки та контрольні прирости меж допуску дорівнюють нулю, отримуємо вирази для визначення помилки першого та другого роду при вимірювальному контролі тривалості роботи доїльних установок

$$\alpha_{K T_U} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\tilde{T}_U}\sigma_{T_U}} \int_{-\Delta_K}^{\Delta_K} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_K - \tilde{T}_U} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2} - \frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right) d\Delta_{T_U} + \int_{\Delta_K - \tilde{T}_U}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2} - \frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right) d\Delta_{T_U} \right) d\tilde{T}_U; \quad (4.13)$$

$$\beta_{K T_U} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\tilde{T}_U}\sigma_{T_U}} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_K} \int_{-\Delta_K - \tilde{T}_U}^{\Delta_K - \tilde{T}_U} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2} - \frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right) d\Delta_{T_U} d\tilde{T}_U + \int_{\Delta_K}^{\infty} \int_{-\Delta_K - \tilde{T}_U}^{\Delta_K - \tilde{T}_U} \exp\left(-\frac{\Delta_{T_U}^2}{2\sigma_{T_U}^2} - \frac{\tilde{T}_U^2}{2\sigma_{\tilde{T}_U}^2}\right) d\Delta_{T_U} d\tilde{T}_U \right), \quad (4.14)$$

Закон розподілу тривалості роботи будь-якої доїльної установки, як було вказано вище, є нормальним. Виходячи з цього, для визначення допустимого відхилення та меж допуску, можна використати правило трьох сигма [212], тобто допустиме відхилення тривалості роботи доїльних установок визначати за виразом

$$\Delta_K = 3 \cdot \sqrt{D_U} = 3\sigma_U, \quad (4.15)$$

де D_U – дисперсія тривалості роботи доїльної установки; σ_U – СКВ тривалості роботи доїльної установки.

Визначимо допустиме відхилення тривалості роботи доїльних установок, статистичні моделі яких розглянуто у другому розділі. Вираз, який визначає допустиме відхилення тривалості роботи стійлової доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, отримуємо, підставивши (2.60) в (4.15)

$$\Delta_{K SN} = 3 \cdot \sqrt{2R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} m_{DN}^2 (l_{DN} + 1)}. \quad (4.16)$$

Підставивши (2.62) в (4.15), отримуємо вираз, що визначає допустиме відхилення тривалості роботи стійлової установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$\Delta_{K SC} = 3 \cdot \sqrt{2R_S k_{PD} + \frac{N_S}{Z_S} m_{DK}^2 (l_{DK} + 1)}. \quad (4.17)$$

Визначимо допустиме відхилення контрольованої тривалості роботи групових доїльних установок типу «Ялинка» і «Паралель». Підставивши (2.76) в (4.15) отримуємо вираз для допустимого відхилення тривалості роботи групових доїльних установок при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$\Delta_{K GN} = 3 \cdot \sqrt{K_{GD} (D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1)) + D_{INO} + D_{OUTO} + 2K_{NGD} k_{PD} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1)}. \quad (4.18)$$

Підставляючи (2.74) в (4.15), отримуємо вираз для допустимого відхилення тривалості роботи групових установок, при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$\Delta_{K GC} = 3 \cdot \sqrt{K_{GD} (D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_D k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1)) + D_{INO} + D_{OUTO} + 2K_{NGD} k_{PD} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1)}. \quad (4.19)$$

Визначимо допустиме відхилення контрольованої тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками. Підставивши (2.85) в (4.15), отримуємо співвідношення, яке визначає допустиме відхилення тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$\Delta_{K PN} = \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{\frac{K_V}{2} (D_{IN} + D_{OUT} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1)) + 2k_{PD} \left(\frac{K_V}{2} + 1\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ 3 \cdot \sqrt{\frac{K_V}{2} (D_{IN} + 2k_{PD} + D_{OUT} + m_{DN}^2 (l_{DN} + 1))}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (4.20)$$

Підставивши (2.83) до (4.15), отримуємо вираз для допустимого відхилення тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$\Delta_{K PC} = \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{\frac{K_V}{2} (D_{IN} + D_{OUT} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1)) + 2k_{PD} \left(\frac{K_V}{2} + 1\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ 3 \cdot \sqrt{\frac{K_V}{2} (D_{IN} + 2k_{PD} + D_{OUT} + m_{DK}^2 (l_{DK} + 1))}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (4.21)$$

Знайдемо співвідношення, за допомогою яких визначаються допустимі відхилення тривалості роботи доїльної установки «Тандем». Підставивши (2.92) в (4.15), отримуємо співвідношення, яке визначає допустиме відхилення тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$\Delta_{K_{TN}} = \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{\left(\frac{K_V}{Z_D}\right)(D_{IN} + m_{DN}^2(l_{DN} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD}\left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_S - 1\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ 3 \cdot \sqrt{\left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] + Z_D\right)(D_{IN} + m_{DN}^2(l_{DN} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD}\left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] - 1 + Z_D\left(2 - \left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\}\right)\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (4.22)$$

Підставивши (2.94) в (4.15), отримуємо співвідношення, що визначає допустиме відхилення тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$\Delta_{K_{TC}} = \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{\left(\frac{K_V}{Z_D}\right)(D_{IN} + m_{DK}^2(l_{DK} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD}\left(\frac{K_V}{Z_D} + Z_S - 1\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} = 0; \\ 3 \cdot \sqrt{\left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] + Z_D\right)(D_{IN} + m_{DK}^2(l_{DK} + 1) + D_{OUT}) + 2k_{PD}\left(\left[\frac{K_V}{Z_D}\right] - 1 + Z_D\left(2 - \left\{\frac{K_V}{Z_D}\right\}\right)\right)}, \left\{\frac{K_V}{2}\right\} \neq 0. \end{cases} \quad (4.23)$$

Підставивши (2.99) в (4.15), визначаємо допустиме відхилення контрольованої тривалості роботи для конвеєрної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$\Delta_{K_{DC}} = 3 \cdot \sqrt{2k_{PD} + m_{DK}^2(l_{DK} + 1) + D_{OUT} + D_{IN}K_T}. \quad (4.24)$$

Помилки першого і другого роду визначаються за виразами (4.13) та (4.14) для усіх вищенаведених типів доїльних установок за допомогою чисельних методів.

4.2 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом

При використанні ЗВ рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом, визначення рівня здійснюється за виразом (3.82), який можна представити у вигляді

$$H_M = \sum_{i=1}^m L - \frac{U_{FI\ m} \pm \Delta_{U_F}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} = \sum_{i=1}^m L - \frac{U_{FI\ m}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D} \pm \pm \frac{\Delta_{U_F}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}, \quad (4.25)$$

де $U_{FI\ m}$ – дійсне значення вихідної напруги m -го фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, діафрагма якого частково закрита молоком; Δ_{U_F} – максимальне значення абсолютної похибки вимірювання вихідної напруги m -го фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач.

Як впливає з виразу (4.25), максимальне значення абсолютної похибки вимірювання рівня молока визначається співвідношенням

$$\Delta_{H_M} = \frac{\Delta_{U_F}}{IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}. \quad (4.26)$$

Абсолютна похибка вимірювання вихідної напруги m -го фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач Δ_{U_F} має такі незалежні складові. Перша складова похибки Δ_{U_F} являє собою похибку квантування АЦП Δ_{KV} , максимальне значення цієї складової, у відповідності з [205, 213], визначається виразом

$$\Delta_{KV} = \frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1)}, \quad (4.27)$$

де U_{REF} – опорна напруга АЦП; n – розрядність АЦП.

Ця складова має нульове математичне очікування, розподілена за рівномірним законом, її СКВ визначається виразом

$$\sigma_{KV} = \frac{U_{REF}}{2\sqrt{3}(2^n - 1)}. \quad (4.28)$$

Друга складова похибки вимірювання вихідної напруги фотоприймача Δ_{U_F} – похибка встановлення Δ_{VS} , зумовлена відхиленням від

вертикального положення молокоприймальної камери доїльного апарата при його встановленні, коливаннями поверхні молока, наявністю крапель та піни, вібраціями, які виникають при роботі доїльного обладнання, іншими випадковими 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 розподілу з нульовим математичним очікуванням та СКВ σ_{VS} .

Внаслідок того, що коефіцієнт передачі та вхідний опір операційного підсилювача мають кінцеві значення, а падіння напруги на фотодіоді, напруга зміщення нуля, різниця вхідних струмів операційного підсилювача, напруга шуму на виході фотоприймача, шумовий струм резистора в колі зворотного зв'язку, шумовий струм фотодіода, шумовий струм та шумова напруга операційного підсилювача відрізняються від нуля, виникає складова Δ_{MF} , яка зумовлена недосконалістю елементної бази. Максимальне значення цієї складової, при використанні джерела світла з немодульованим випромінюванням, як випливає з (3.70) визначається співвідношенням

$$\Delta_{MF} = \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{k_b T}\right) - 1 \right)}{1 + R_{ZZ} / K_0 R_{IN} + 1 / K_0} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N. \quad (4.29)$$

Враховуючи, що ця складова залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий, можна припустити, що вона розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням та СКВ σ_{MF} .

Виходячи з вищенаведеного, абсолютна похибка вимірювання вихідної напруги m -го фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач визначається за виразом

$$\Delta_{U_F} = \Delta_{KV} + \Delta_{VS} + \Delta_{MF} = \frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1)} + \Delta_{VS} + \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{k_b T}\right) - 1 \right)}{1 + R_{ZZ} / K_0 R_{IN} + 1 / K_0} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N. \quad (4.30)$$

Підставивши (4.30) в (4.26), отримуємо вираз для максимального значення Δ_{H_M} абсолютної похибки вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата при використанні ЗВ рівня на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом

$$\Delta_{H_M} = \frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D} + \frac{\Delta_{VS}}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D} + \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{k_b T}\right) - 1 \right)}{1 + R_{ZZ}/K_0 R_{IN} + 1/K_0} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N$$

$$+ \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e_e U_{VD}}{k_b T}\right) - 1 \right)}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.31)$$

Перша складова виразу (4.31) зумовлена квантуванням вихідного сигналу фотоприймача АЦП. Максимальне значення цієї складової визначається виразом

$$\Delta_{KVH} = \frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.32)$$

Вищевказана складова має нульове математичне очікування та розподілена за рівномірним законом, який визначається виразом

$$P_{KVH}(\Delta_{H_M}) = \begin{cases} \frac{(2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}{U_{REF}}, & \Delta_{H_M} \in \left[-\frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}; \frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D} \right]; \\ 0, & \Delta_{H_M} \in \left(-\infty; -\frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D} \right) \cup \left(\frac{U_{REF}}{2 \cdot (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}; +\infty \right). \end{cases} \quad (4.33)$$

СКВ цієї складової визначається виразом

$$\sigma_{KVH} = \frac{U_{REF}}{2\sqrt{3} (2^n - 1) IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.34)$$

Максимальне значення другої складової виразу (4.31), яка зумовлена наявністю похибки встановлення Δ_{VS} , визначається виразом

$$\Delta_{VSH} = \frac{\Delta_{VS}}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.35)$$

Ця складова розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. СКВ цієї складової визначається виразом

$$\sigma_{VSH} = \frac{\sigma_{VS}}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}, \quad (4.36)$$

а закон розподілу

$$P_{VSH}(\Delta_{H_M}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{VSH}} \exp\left(-\frac{\Delta_{H_M}^2}{2\sigma_{VSH}^2}\right). \quad (4.37)$$

Максимальне значення третьої складової виразу (4.31), яка зумовлена недосконалістю елементної бази фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, визначається виразом

$$\Delta_{MFH} = \frac{I_S R_{ZZ} \left(\exp\left(\frac{e U_{VD}}{k_b T}\right) - 1 \right)}{1 + R_{ZZ}/K_0 R_{IN} + 1/K_0} + \Delta I R_{ZZ} + U_{SM} + U_N}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.38)$$

Ця складова розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, СКВ цієї складової визначається виразом

$$\sigma_{MFH} = \frac{\sigma_{MF}}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}, \quad (4.39)$$

а закон розподілу

$$p_{MFH}(\Delta_{H_M}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{MFH}} \exp\left(-\frac{\Delta_{H_M}^2}{2\sigma_{MFH}^2}\right). \quad (4.40)$$

Таким чином, СКВ похибки вимірювання рівня молока визначається за виразом

$$\begin{aligned} \sigma_{H_M} &= \sqrt{\sigma_{MFH}^2 + \sigma_{VSH}^2 + \sigma_{KVH}^2} = \\ &= \frac{1}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D} \sqrt{\left(\frac{U_{REF}}{2\sqrt{3}(2^n - 1)}\right)^2 + \sigma_{MF}^2 + \sigma_{VS}^2}. \end{aligned} \quad (4.41)$$

Закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата Δ_{H_M} , при використанні ЗВ рівня на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом, внаслідок незалежності складових, визначається згортанням їх законів розподілу [131, 211]

$$p_H(\Delta_{H_M}) = p_{MFH}(\Delta_{H_M}) * p_{VSH}(\Delta_{H_M}) * p_{KVH}(\Delta_{H_M}). \quad (4.42)$$

Складові абсолютної похибки вимірювання рівня молока Δ_{MFH} та Δ_{VSH} , як було вказано вище, розподілені за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. СКВ суми цих складових визначається співвідношенням

$$\sigma_{SH} = \frac{\sqrt{\sigma_{MF}^2 + \sigma_{VS}^2}}{IS_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} D}. \quad (4.43)$$

Закон розподілу суми складових Δ_{MFH} та Δ_{VSH} є нормальним з нульовим математичним очікуванням, та визначається виразом

$$p_{S H}(\Delta_{H_M}) = p_{M F H}(\Delta_{H_M}) * p_{V S H}(\Delta_{H_M}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{S H}} \exp\left(-\frac{\Delta_{H_M}^2}{2\sigma_{S H}^2}\right). \quad (4.44)$$

Підставивши (4.44) та (4.33) в (4.42), отримуємо закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата при використанні ЗВ рівня на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом

$$p_H(\Delta_{H_M}) = \frac{(2^n - 1)IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}{\sqrt{2\pi}\sigma_{S H}U_{REF}} \frac{\int_{\frac{U_{REF}}{2(2^n-1)IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}}^{\frac{U_{REF}}{2(2^n-1)IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{H_M} - z)^2}{2\sigma_{S H}^2}\right) dz}{\frac{U_{REF}}{2(2^n-1)IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}D}}. \quad (4.45)$$

При використанні сучасної елементної бази з низьким рівнем шумів для реалізації фотоприймача на основі пари фотодіод–операційний підсилювач, справедливі співвідношення $\Delta I \rightarrow 0$, $U_{SM} \rightarrow 0$, $U_N \rightarrow 0$, $I_S \rightarrow 0$. Враховуючи вираз (3.71), складовою похибки $\Delta_{M F H}$ в першому наближенні можна знехтувати.

При використанні АЦП з великою кількістю розрядів вихідного коду, складова похибки квантування $\Delta_{K V H}$ значно менша за складову $\Delta_{V S H}$. Виходячи з цього, значенням $\Delta_{K V H}$ у першому наближенні можна знехтувати. Таким чином, основною складовою похибки вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата при використанні ЗВ на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом, є складова $\Delta_{V S H}$. Виходячи з наведеного вище, розподіл абсолютної похибки вимірювання рівня молока, у першому наближенні можна прийняти за нормальний з нульовим математичним очікуванням. Внаслідок домінуючого впливу складової $\Delta_{V S H}$ на загальну похибку вимірювання рівня, у першому наближенні справедливі співвідношення

$$\sigma_{H_M} \approx \sigma_{V S H}, \quad (4.46)$$

$$p_H(\Delta_{H_M}) \approx p_{V S H}(\Delta_{H_M}). \quad (4.47)$$

Представимо вираз (3.84), на основі якого визначається разовий удій тварини при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом, у вигляді [214]

$$V_R = S_M \sum_{i=1}^{N_M} (H_{M_i} \pm \Delta_{H_{M_i}}) = S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{M_i} \pm S_M \sum_{i=1}^{N_M} \Delta_{H_{M_i}}, \quad (4.48)$$

де $\Delta_{H_{M_i}}$ – абсолютна похибка вимірювання рівня i -ї порції молока.

Друга складова виразу (4.48) визначає максимальне значення абсолютної похибки вимірювання разового удою тварини

$$\Delta_{V_R} = S_M \sum_{i=1}^{N_M} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.49)$$

Як впливає з виразу (4.49), СКВ цієї похибки визначається виразом

$$\sigma_{V_R} = S_M \sigma_{H_M} \sqrt{N_M}. \quad (4.50)$$

Абсолютна похибка вимірювання разового удою, згідно з першою граничною теоремою [117], розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, який визначається виразом

$$p_{V_R}(\Delta_{V_R}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{V_R}} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_R}^2}{2\sigma_{V_R}^2}\right). \quad (4.51)$$

Згідно з зоотехнічними нормами [46, 47], разовий удій тварини не повинен бути меншим попереднього разового удою V_{RPD} у той самий період доби більш ніж на 20 %. Внаслідок того, що разовий удій тварини залежить від великої кількості факторів, та протягом однієї доби він суттєво не змінюється, є підстави припустити, що його центроване значення розподілене за нормальним законом з СКВ σ_R . Виходячи з цього, сумісний двовимірний закон розподілу контрольованого разового удою та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{V_R}, \check{V}_R) = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_R}\sigma_R} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_R}^2}{2\sigma_{V_R}^2} - \frac{\check{V}_R^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (4.52)$$

де \check{V}_R – центроване значення контрольованого разового удою тварини, яке дорівнює

$$\check{V}_R = V_R - V_{RPD}. \quad (4.53)$$

Підставивши (4.53) в (4.1) та (4.6) і вважаючи, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = -0,2 \cdot V_{RPD}$, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K V_R}$ та помилку другого роду $\beta_{K V_R}$ при вимірювальному контролі разового удою тварини

$$\alpha_{K V_R} = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_R}\sigma_R} \int_{-0,2V_{RPD}}^{\infty} \int_{-\infty}^{-0,2V_{RPD}-\check{V}_R} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_R}^2}{2\sigma_{V_R}^2} - \frac{\check{V}_R^2}{2\sigma_R^2}\right) d\Delta_{V_R} d\check{V}_R; \quad (4.54)$$

$$\beta_{K V_R} = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_R}\sigma_R} \int_{-\infty}^{-0,2V_{RPD}} \int_{-0,2V_{RPD}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_R}^2}{2\sigma_{V_R}^2} - \frac{\check{V}_R^2}{2\sigma_R^2}\right) d\Delta_{V_R} d\check{V}_R. \quad (4.55)$$

Визначимо абсолютну похибку вимірювання та достовірність контролю середньої інтенсивності молоковіддачі при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Врахувавши, що похибка вимірювання часового інтервалу незначна у порівнянні з іншими складовими і практично не впливає на результат вимірювання, представимо вираз (3.85), за яким визначається інтенсивність молоковіддачі, у вигляді

$$I_{MS} = \frac{V_R \pm \Delta_{V_R}}{t_D} = \frac{V_R}{t_D} \pm \frac{1}{t_D} S_M \sum_{i=1}^{N_M} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.56)$$

Друга складова (4.56) визначає максимальне значення абсолютної похибки вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі

$$\Delta_{MS} = \frac{1}{t_D} S_M \sum_{i=1}^{N_M} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.57)$$

Враховуючи велику кількість впливних факторів, та основний вплив складової Δ_{VS} на результат вимірювання рівня, можна прийняти, що абсолютна похибка вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, а її СКВ визначається виразом

$$\sigma_{MS} = \frac{1}{t_D} S_M \sqrt{N_M} \sigma_{H_M}. \quad (4.58)$$

Також внаслідок наявності великої кількості впливних факторів, є підстави припустити, що центроване значення середньої інтенсивності молоковіддачі \check{I}_{MS} розподілене за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням та СКВ $\sigma_{I_{MS}}$. Виходячи з цього, сумісний двовимірний закон розподілу центрваного значення середньої інтенсивності молоковіддачі та абсолютної похибки її вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{MS}, \check{I}_{MS}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{I_{MS}}\sigma_{MS}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MS}^2}{2\sigma_{MS}^2} - \frac{\check{I}_{MS}^2}{2\sigma_{I_{MS}}^2}\right). \quad (4.59)$$

Позначимо через $\Delta_{K_{MS}}$ допустиме відхилення контрольованої середньої інтенсивності молоковіддачі. Підставивши (4.59) в (4.1) та (4.6), і прийнявши, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, а систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K_{I_{MS}}}$ та помилку другого роду $\beta_{K_{I_{MS}}}$ при вимірювальному контролі середньої інтенсивності молоковіддачі

$$\alpha_{K I_{MS}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{I_{MS}}\sigma_{MS}} \int_{-\Delta_{K MS}}^{\Delta_{K MS}} \left(\int_{-\infty}^{-\tilde{T}_U} \exp\left(-\frac{\Delta_{MS}^2}{2\sigma_{MS}^2} - \frac{\tilde{I}_{MS}^2}{2\sigma_{I_{MS}}^2}\right) d\Delta_{MS} + \int_{\Delta_{K MS}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{MS}^2}{2\sigma_{MS}^2} - \frac{\tilde{I}_{MS}^2}{2\sigma_{I_{MS}}^2}\right) d\Delta_{MS} \right) d\tilde{I}_{MS}; \quad (4.60)$$

$$\beta_{K I_{MS}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{I_{MS}}\sigma_{MS}} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_{K MS}} \int_{-\Delta_{K MS}}^{\Delta_{K MS}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MS}^2}{2\sigma_{MS}^2} - \frac{\tilde{I}_{MS}^2}{2\sigma_{I_{MS}}^2}\right) d\Delta_{MS} d\tilde{I}_{MS} + \int_{\Delta_{K MS}}^{\infty} \int_{-\Delta_{K MS}}^{\Delta_{K MS}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MS}^2}{2\sigma_{MS}^2} - \frac{\tilde{I}_{MS}^2}{2\sigma_{I_{MS}}^2}\right) d\Delta_{MS} d\tilde{I}_{MS} \right). \quad (4.61)$$

Визначимо абсолютну похибку вимірювання та достовірність контролю інтенсивності молоковіддачі протягом перших тридцяти секунд після початку доїння I_{30} при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Значення I_{30} , що визначається за виразом (3.86), представимо у вигляді

$$I_{30} = \frac{V_{M30} \pm \Delta_{V30}}{T_{30}} = \frac{1}{T_{30}} S_M \left(H_{M30} + \sum_{i=1}^{N_{M30}} H_{Mi} \right) \pm \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M30}+1} \Delta_{H_{Mi}}, \quad (4.62)$$

де Δ_{V30} – абсолютна похибка вимірювання удою на тридцятій секунді після початку доїння; H_{M30} – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на тридцятую секунду після початку доїння; N_{M30} – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на тридцятую секунду після початку доїння.

Друга складова виразу (4.62) визначає абсолютну похибку вимірювання I_{30}

$$\Delta_{I30} = \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M30}+1} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.63)$$

Внаслідок того, що виникнення цієї похибки зумовлено тими ж факторами, що і похибка вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі, є підстави припустити, що абсолютна похибка вимірювання I_{30} розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, її СКВ визначається як

$$\sigma_{\Delta_{I30}} = \frac{1}{T_{30}} S_M \sigma_{H_M} \sqrt{N_{M30} + 1}. \quad (4.64)$$

У відповідності з [28], значення I_{30} не повинно бути меншим, ніж $I_{30 MIN} = 1,5$ л/хв, нормальним вважається значення $I_{30 NORM} = 7,5$ л/хв. Параметр I_{30} залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий. Виходячи з цього, можна вважати, що

закон розподілу його центрованого значення є нормальним з СКВ $\sigma_{I_{30}}$. Таким чином, сумісний двовимірний закон розподілу параметра I_{30} та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{I_{30}}, \check{I}_{30}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{30}}}\sigma_{I_{30}}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{30}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{30}}}^2} - \frac{\check{I}_{30}^2}{2\sigma_{I_{30}}^2}\right), \quad (4.65)$$

де \check{I}_{30} – центроване значення параметра I_{30} , яке визначається як

$$\check{I}_{30} = I_{30} - I_{30 \text{ NORM}}. \quad (4.66)$$

Підставивши (4.65) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = I_{30 \text{ MIN}} - I_{30 \text{ NORM}}$, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K I_{30}}$ та помилку другого роду $\beta_{K I_{30}}$ при вимірювальному контролі параметра I_{30}

$$\alpha_{K I_{30}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{30}}}\sigma_{I_{30}}} \int_{I_{30 \text{ MIN}} - I_{30 \text{ NORM}}}^{\infty} \int_{-\infty}^{I_{30 \text{ MIN}} - I_{30 \text{ NORM}} - \check{I}_{30}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{30}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{30}}}^2} - \frac{\check{I}_{30}^2}{2\sigma_{I_{30}}^2}\right) d\Delta_{I_{30}} d\check{I}_{30}, \quad (4.67)$$

$$\beta_{K I_{30}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{30}}}\sigma_{I_{30}}} \int_{-\infty}^{I_{30 \text{ MIN}} - I_{30 \text{ NORM}}} \int_{I_{30 \text{ MIN}} - I_{30 \text{ NORM}}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{30}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{30}}}^2} - \frac{\check{I}_{30}^2}{2\sigma_{I_{30}}^2}\right) d\Delta_{I_{30}} d\check{I}_{30}. \quad (4.68)$$

Визначимо абсолютну похибку вимірювання та достовірність контролю інтенсивності молоковіддачі протягом часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння I_{60} , при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Інтенсивність молоковіддачі I_{60} , що визначається виразом (3.87), представимо у вигляді

$$\begin{aligned} I_{60} &= \frac{V_{M60} \pm \Delta_{V60} - V_{M30} \pm \Delta_{V30}}{T_{30}} = \frac{V_{M60} - V_{M30}}{T_{30}} \pm \frac{\Delta_{V60} + \Delta_{V30}}{T_{30}} = \\ &= \frac{1}{T_{30}} (V_{M60} - V_{M30}) \pm \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M60} + N_{M30} + 2} \Delta_{H_{Mi}}, \end{aligned} \quad (4.69)$$

де Δ_{V60} – абсолютна похибка вимірювання удою на шістдесятій секунді після початку доїння; N_{M60} – кількість повних порцій молока, що були сформовані у часовий проміжок між тридцятою та шістдесятою секундою після початку доїння.

Друга складова виразу (4.69) визначає максимальне значення абсолютної похибки вимірювання параметра I_{60}

$$\Delta_{I_{60}} = \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M60} + N_{M30} + 2} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.70)$$

Виникнення цієї похибки зумовлено тими ж факторами, як і у попередньому випадку. Це дає підстави припустити, що абсолютна похибка вимірювання параметра I_{60} розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням та має СКВ

$$\sigma_{\Delta_{I_{60}}} = \frac{1}{T_{30}} \sigma_{H_M} S_M \sqrt{N_{M60} + N_{M30} + 2}. \quad (4.71)$$

У відповідності з [28] значення I_{60} повинно знаходитись в межах від $I_{60 \text{ MIN}} = 4$ л/хв до $I_{60 \text{ MAX}} = 11$ л/хв, нормальним вважається значення $I_{60 \text{ NORM}} = 7,5$ л/хв. Інтенсивність молоковіддачі протягом цього часового інтервалу залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий. Виходячи з цього, можна вважати, що закон розподілу центрованого значення цього параметра є нормальним з СКВ $\sigma_{I_{60}}$. Таким чином, сумісний двовимірний закон розподілу параметра I_{60} та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{I_{60}}, \check{I}_{60}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{60}}}\sigma_{I_{60}}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{60}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{60}}}^2} - \frac{\check{I}_{60}^2}{2\sigma_{I_{60}}^2}\right), \quad (4.72)$$

де \check{I}_{60} – центроване значення параметра I_{60} , яке визначається як

$$\check{I}_{60} = I_{60} - I_{60 \text{ NORM}}. \quad (4.73)$$

Підставивши (4.72) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, а допустиме відхилення контрольованого параметра визначається виразом

$$\Delta_{K I_{60}} = I_{60 \text{ MAX}} - I_{60 \text{ NORM}} = I_{60 \text{ NORM}} - I_{60 \text{ MIN}}, \quad (4.74)$$

отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K I_{60}}$ та помилку другого роду $\beta_{K I_{60}}$ при вимірювальному контролі параметра I_{60}

$$\alpha_{K I_{60}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{60}}}\sigma_{I_{60}}} \int_{-\Delta_{K I_{60}}}^{\Delta_{K I_{60}}} \left(\int_{-\infty}^{-\check{I}_{60}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{60}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{60}}}^2} - \frac{\check{I}_{60}^2}{2\sigma_{I_{60}}^2}\right) d\Delta_{I_{60}} + \int_{\Delta_{K I_{60}}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{60}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{60}}}^2} - \frac{\check{I}_{60}^2}{2\sigma_{I_{60}}^2}\right) d\Delta_{I_{60}} \right) d\check{I}_{60}; \quad (4.75)$$

$$\beta_{K I_{60}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta_{I_{60}}}\sigma_{I_{60}}} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_{K I_{60}}} \int_{-\Delta_{K I_{60}}}^{\Delta_{K I_{60}}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{60}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{60}}}^2} - \frac{\check{I}_{60}^2}{2\sigma_{I_{60}}^2}\right) d\Delta_{I_{60}} d\check{I}_{60} + \int_{\Delta_{K I_{60}}}^{\infty} \int_{-\Delta_{K I_{60}}}^{-\check{I}_{60}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{60}}^2}{2\sigma_{\Delta_{I_{60}}}^2} - \frac{\check{I}_{60}^2}{2\sigma_{I_{60}}^2}\right) d\Delta_{I_{60}} d\check{I}_{60} \right). \quad (4.76)$$

Визначимо абсолютну похибку вимірювання та достовірність контролю інтенсивності молоковіддачі протягом часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння I_{90} , при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Інтенсивність I_{90} , що визначається виразом (3.88), представимо у вигляді

$$I_{90} = \frac{V_{M90} \pm \Delta_{V90} - V_{M60} \pm \Delta_{V60}}{T_{30}} = \frac{V_{M90} - V_{M60}}{T_{30}} \pm \frac{\Delta_{V90} + \Delta_{V60}}{T_{30}} =$$

$$= \frac{1}{T_{30}}(V_{M90} - V_{M60}) \pm \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M90} + N_{M60} + 2} \Delta_{H_{Mi}}, \quad (4.77)$$

де Δ_{V90} – абсолютна похибка вимірювання удою на дев'яностах секундах після початку доїння; N_{M90} – кількість повних порцій, що були сформовані у часовому проміжку між шістдесятою та дев'яностаю секундами після початку доїння.

Друга складова виразу (4.77) визначає максимальне значення абсолютної похибки вимірювання параметра I_{90}

$$\Delta_{I90} = \frac{1}{T_{30}} S_M \sum_{i=1}^{N_{M90} + N_{M60} + 2} \Delta_{H_{Mi}}. \quad (4.78)$$

За аналогією з попереднім випадком, можна припустити, що абсолютна похибка вимірювання параметра I_{90} розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, та має СКВ

$$\sigma_{\Delta I90} = \frac{1}{T_{30}} \sigma_{H_M} S_M \sqrt{N_{M90} + N_{M60} + 2}. \quad (4.79)$$

Значення I_{90} , у відповідності з [28], як і I_{60} , повинно знаходитись в межах від $I_{90 \text{ MIN}} = 4$ л/хв до $I_{90 \text{ MAX}} = 11$ л/хв, нормальним вважається значення $I_{90 \text{ NORM}} = 7,5$ л/хв. За аналогією з попереднім випадком, можна вважати, що закон розподілу центрованого значення цього параметра є нормальним з СКВ σ_{I90} . Таким чином, сумісний двовимірний закон розподілу параметра I_{90} та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{I90}, \check{I}_{90}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta I90}\sigma_{I90}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I90}^2}{2\sigma_{\Delta I90}^2} - \frac{\check{I}_{90}^2}{2\sigma_{I90}^2}\right), \quad (4.80)$$

де \check{I}_{90} – центроване значення параметра I_{90} , яке визначається виразом

$$\check{I}_{90} = I_{90} - I_{90 \text{ NORM}}. \quad (4.81)$$

Підставивши (4.80) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, а допустиме відхилення параметра I_{90} визначається виразом

$$\Delta_{K I_{90}} = I_{90 \text{ MAX}} - I_{90 \text{ NORM}} = I_{90 \text{ NORM}} - I_{90 \text{ MIN}}, \quad (4.82)$$

отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K I_{90}}$ та помилку другого роду $\beta_{K I_{90}}$ при вимірювальному контролі параметра I_{90}

$$\alpha_{K I_{90}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta I_{90}}\sigma_{I_{90}}} \int_{-\Delta_{K I_{90}}}^{\Delta_{K I_{90}}} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_{K I_{90}} - \tilde{I}_{90}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{90}}^2}{2\sigma_{\Delta I_{90}}^2} - \frac{\tilde{I}_{90}^2}{2\sigma_{I_{90}}^2}\right) d\Delta_{I_{90}} + \int_{\Delta_{K I_{90}}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{90}}^2}{2\sigma_{\Delta I_{90}}^2} - \frac{\tilde{I}_{90}^2}{2\sigma_{I_{90}}^2}\right) d\Delta_{I_{90}} \right) d\tilde{I}_{90}; \quad (4.83)$$

$$\beta_{K I_{90}} = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta I_{90}}\sigma_{I_{90}}} \left(\int_{-\infty}^{-\Delta_{K I_{90}}} \int_{-\Delta_{K I_{90}} - \tilde{I}_{90}}^{\Delta_{K I_{90}} - \tilde{I}_{90}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{90}}^2}{2\sigma_{\Delta I_{90}}^2} - \frac{\tilde{I}_{90}^2}{2\sigma_{I_{90}}^2}\right) d\Delta_{I_{90}} d\tilde{I}_{90} + \int_{\Delta_{K I_{90}}}^{\infty} \int_{-\Delta_{K I_{90}} - \tilde{I}_{90}}^{\Delta_{K I_{90}} - \tilde{I}_{90}} \exp\left(-\frac{\Delta_{I_{90}}^2}{2\sigma_{\Delta I_{90}}^2} - \frac{\tilde{I}_{90}^2}{2\sigma_{I_{90}}^2}\right) d\Delta_{I_{90}} d\tilde{I}_{90} \right). \quad (4.84)$$

При контролі часу припуску молока вимірюють часовий проміжок між початком доїння та отриманням перших ста грамів молока, цей часовий проміжок не повинен перевищувати двадцять секунд [7–9]. Відповідно, виникає завдання вимірювального контролю значення поточного удою на двадцятій секунді після початку доїння. Позначимо через V_{MP} поточний удій протягом часу від початку доїння, до моменту формування першої порції молока. Тоді вираз (3.83) можна представити у вигляді

$$V_{MP} = S_M H_M \pm S_M \Delta_{H_M}. \quad (4.85)$$

Друга складова виразу (4.85) визначає абсолютну похибку вимірювання значення V_{MP}

$$\Delta_{V_{MP}} = S_M \Delta_{H_M}. \quad (4.86)$$

Враховавши домінуючий вплив складової $\Delta_{V_{S H}}$ на абсолютну похибку вимірювання рівня, та вираз (4.46), можна припустити, що похибка $\Delta_{V_{MP}}$ розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням та СКВ, яке визначається співвідношенням

$$\sigma_{V_{MP}} = S_M \sigma_{H_M}. \quad (4.87)$$

У відповідності з результатами роботи [215], при використанні різних типів доїльних апаратів для доїння тварин, які здорові, якісно підготовлені до доїння, та знаходяться на різних стадіях лактаційного періоду, поточний удій на двадцятій секунді після початку доїння знаходиться в межах від $V_{MP \text{ MIN}} = 100$ г до $V_{MP \text{ MAX}} = 500$ г. Виходячи з цього,

будемо вважати, що математичне очікування поточного удою на двадцятій секунді після початку доїння, визначається виразом

$$V_{MP S} = \frac{V_{MP MIN} + V_{MP MAX}}{2}. \quad (4.88)$$

Внаслідок того, що поточний удій тварини залежить від великої кількості факторів, є підстави припустити, що його центроване значення розподілене за нормальним законом з СКВ σ_{MP} . Виходячи з цього, сумісний двовимірний закон розподілу параметра V_{MP} та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{V_{MP}}, \check{V}_{MP}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{MP}}\sigma_{MP}} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_{MP}}^2}{2\sigma_{V_{MP}}^2} - \frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right), \quad (4.89)$$

де \check{V}_{MP} – центроване значення параметра V_{MP} , яке дорівнює

$$\check{V}_{MP} = V_{MP} - V_{MP S}. \quad (4.90)$$

Допустиме відхилення центрованого значення параметра V_{MP} визначається виразом

$$\Delta_{K MP} = V_{MP S} - V_{MP MIN} = V_{MP MAX} - V_{MP S}, \quad (4.91)$$

Підставивши (4.89) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = V_{MP MIN} - V_{MP S}$, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K MP}$ та помилку другого роду $\beta_{K MP}$ при вимірювальному контролі поточного удою на двадцятій секунді після початку доїння

$$\alpha_{K MP} = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{MP}}\sigma_{MP}} \int_{V_{MP S} - V_{MP MIN}}^{\infty} \int_{-\infty}^{V_{MP S} - V_{MP MIN} - \check{V}_{MP}} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_{MP}}^2}{2\sigma_{V_{MP}}^2} - \frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}; \quad (4.92)$$

$$\beta_{K MP} = \frac{1}{2\pi\sigma_{V_{MP}}\sigma_{MP}} \int_{-\infty}^{V_{MP S} - V_{MP MIN}} \int_{V_{MP S} - V_{MP MIN}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_{MP}}^2}{2\sigma_{V_{MP}}^2} - \frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}. \quad (4.93)$$

Вимірювальний контроль миттєвої інтенсивності молоковіддачі здійснюється протягом доїння з метою визначення моменту переходу до режиму додоювання, та моменту закінчення доїння. У відповідності з [2, 3], порогове значення миттєвої інтенсивності молоковіддачі при переході до режиму додоювання дорівнює $I_{MV D} = 0,8$ л/хв, а порогове значення миттєвої інтенсивності молоковіддачі, яке є ознакою закінчення доїння, приблизно дорівнює $I_{MV Z} = 0,2$ л/хв. Визначимо по-

хибку вимірювання та достовірність вимірювального контролю миттєвої інтенсивності молоковіддачі I_{MV} при використанні ЗВ рівня молока на основі фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Параметр I_{MV} залежить від великої кількості факторів, серед яких неможливо виділити домінуючий. Виходячи з цього, можна вважати, що закон розподілу параметра є нормальним з СКВ $\sigma_{I_{MV}}$. Математичне очікування миттєвої інтенсивності молоковіддачі $I_{MV S}$ можна визначити шляхом усереднення результатів вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі для кожної тварини. Представимо вираз (3.89), за яким визначається I_{MV} , у вигляді

$$I_{MV} = \frac{S_M (H_{M2} - H_{M1} \pm \Delta_{H_{M1}} \pm \Delta_{H_{M2}})}{t_2 - t_1} = \frac{S_M (H_{M2} - H_{M1})}{t_2 - t_1} \pm \frac{S_M (\Delta_{H_{M1}} + \Delta_{H_{M2}})}{t_2 - t_1}. \quad (4.94)$$

Друга складова виразу (4.94) визначає абсолютну похибку вимірювання I_{MV}

$$\Delta_{MV} = \frac{S_M (\Delta_{H_{M1}} + \Delta_{H_{M2}})}{t_2 - t_1}. \quad (4.95)$$

З урахуванням того, що складова $\Delta_{VS H}$ має домінуючий вплив на абсолютну похибку вимірювання рівня, можна припустити, що похибка Δ_{MV} розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням та СКВ, яке визначається співвідношенням

$$\sigma_{MV} = \frac{\sqrt{2}\sigma_{H_M}}{t_2 - t_1}. \quad (4.96)$$

Таким чином, сумісний двовимірний закон розподілу параметра I_{MV} та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{MV}, \check{I}_{MV}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{MV}\sigma_{I_{MV}}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MV}^2}{2\sigma_{MV}^2} - \frac{\check{I}_{MV}^2}{2\sigma_{I_{MV}}^2}\right), \quad (4.97)$$

де \check{I}_{MV} – центроване значення миттєвої інтенсивності молоковіддачі, яке визначається як

$$\check{I}_{MV} = I_{MV} - I_{MV S}. \quad (4.98)$$

При вимірювальному контролі I_{MV} , в процесі визначення моменту переходу до додоювання, коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = I_{MV D} - I_{MV S}$. Підставив-

ши (4.97) в (4.1) та (4.6), отримуємо вирази для помилки першого роду $\alpha_{K\ MVD}$ та помилки другого роду $\beta_{K\ MVD}$

$$\alpha_{K\ MVD} = \frac{1}{2\pi\sigma_{MV}\sigma_{I_{MV}}} \int_{I_{MV\ D}^{-I_{MV\ S}}}^{\infty} \int_{-\infty}^{I_{MV\ D}^{-I_{MV\ S}} - \tilde{I}_{MV}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MV}^2}{2\sigma_{MV}^2} - \frac{\tilde{I}_{MV}^2}{2\sigma_{I_{MV}}^2}\right) d\Delta_{MV} d\tilde{I}_{MV}; \quad (4.99)$$

$$\beta_{K\ MVD} = \frac{1}{2\pi\sigma_{MV}\sigma_{I_{MV}}} \int_{-\infty}^{I_{MV\ D}^{-I_{MV\ S}}} \int_{I_{MV\ D}^{-I_{MV\ S}}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{MV}^2}{2\sigma_{MV}^2} - \frac{\tilde{I}_{MV}^2}{2\sigma_{I_{MV}}^2}\right) d\Delta_{MV} d\tilde{I}_{MV}. \quad (4.100)$$

При вимірювальному контролі I_{MV} , в процесі визначення моменту закінчення доїння, коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = I_{MV\ Z} - I_{MV\ S}$. Підставивши (4.97) в (4.1) та (4.6), отримуємо вирази для помилки першого роду $\alpha_{K\ MVZ}$ та помилки другого роду $\beta_{K\ MVZ}$

$$\alpha_{K\ MVZ} = \frac{1}{2\pi\sigma_{MV}\sigma_{I_{MV}}} \int_{I_{MV\ Z}^{-I_{MV\ S}}}^{\infty} \int_{-\infty}^{I_{MV\ Z}^{-I_{MV\ S}} - \tilde{I}_{MV}} \exp\left(-\frac{\Delta_{MV}^2}{2\sigma_{MV}^2} - \frac{\tilde{I}_{MV}^2}{2\sigma_{I_{MV}}^2}\right) d\Delta_{MV} d\tilde{I}_{MV}; \quad (4.101)$$

$$\beta_{K\ MVZ} = \frac{1}{2\pi\sigma_{MV}\sigma_{I_{MV}}} \int_{-\infty}^{I_{MV\ Z}^{-I_{MV\ S}}} \int_{I_{MV\ Z}^{-I_{MV\ S}}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\Delta_{MV}^2}{2\sigma_{MV}^2} - \frac{\tilde{I}_{MV}^2}{2\sigma_{I_{MV}}^2}\right) d\Delta_{MV} d\tilde{I}_{MV}. \quad (4.102)$$

4.3 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом

Проведемо теоретичне дослідження похибки вимірювання рівня молока, яка виникає при застосуванні фотоелектричного ВП рівня з дискретним вихідним сигналом, який розглянуто у підрозділі 3.8. При використанні такого ВП виникають дві складові похибки вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата – похибка квантування Δ_{KV} , та похибка встановлення Δ_{VS} . Максимальне значення похибки квантування такого ВП визначається виразом (3.111). Ця складова, у відповідності з [213], має рівномірний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням, який визначається виразом

$$P_{KV\ H}(\Delta_{H_M}) = \begin{cases} \frac{1}{d_{TK}}, & \Delta_{H_M} \in \left[-\frac{d_{TK}}{2}; \frac{d_{TK}}{2}\right] \\ 0, & \Delta_{H_M} \in \left(-\infty; -\frac{d_{TK}}{2}\right) \cup \left(\frac{d_{TK}}{2}; +\infty\right). \end{cases} \quad (4.103)$$

СКВ цієї складової визначається за виразом

$$\sigma_{KVH} = \frac{d_{TK}}{2\sqrt{3}}. \quad (4.104)$$

Виникнення похибки встановлення Δ_{VS} зумовлено тими ж факторами, що і у фотоелектричного ВП з аналоговим вихідним сигналом. Виходячи з цього, є підстави припустити, що ця складова розподілена за нормальним законом розподілу, який визначається виразом (4.37), з СКВ σ_{VSH} та нульовим математичним очікуванням.

Внаслідок незалежності складових абсолютної похибки вимірювання рівня молока, її СКВ визначається за виразом

$$\sigma_{HM} = \sqrt{\sigma_{VSH}^2 + \sigma_{KVH}^2} = \sqrt{\frac{d_{TK}^2}{12} + \sigma_{VS}^2}. \quad (4.105)$$

Закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока Δ_{HM} при використанні фотоелектричного ВП з дискретним вихідним сигналом визначається згортанням їх законів розподілу [131, 211]

$$p_H(\Delta_{HM}) = p_{VSH}(\Delta_{HM}) * p_{KVH}(\Delta_{HM}). \quad (4.106)$$

Підставивши (4.103) та (4.37) в (4.106), отримуємо закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока при використанні фотоелектричного ВП з дискретним вихідним сигналом

$$p_H(\Delta_{HM}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{VSH}d_{TK}} \int_{-\frac{d_{TK}}{2}}^{\frac{d_{TK}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{HM} - z)^2}{2\sigma_{VSH}^2}\right) dz. \quad (4.107)$$

Проведемо теоретичне дослідження похибки вимірювання рівня, яка виникає при застосуванні ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, який розглянуто у підрозділі 3.9. При використанні ВП рівня на основі МАЕ, як і у попередньому випадку, виникають дві складових похибки вимірювання – похибка квантування Δ_{KV} та похибка встановлення Δ_{VS} . Максимальне значення похибки квантування ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, визначається виразом (3.108). У відповідності з [213] ця складова має рівномірний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням, який визначається виразом

$$p_{KVH}(\Delta_{HM}) = \begin{cases} \frac{2}{h_{LM}}, & \Delta_{HM} \in \left[-\frac{h_{LM}}{4}; \frac{h_{LM}}{4}\right] \\ 0, & \Delta_{HM} \in \left(-\infty; -\frac{h_{LM}}{4}\right) \cup \left(\frac{h_{LM}}{4}; +\infty\right). \end{cases} \quad (4.108)$$

СКВ цієї складової визначається за виразом

$$\sigma_{KVH} = \frac{h_{LM}}{4\sqrt{3}}. \quad (4.109)$$

Причини виникнення похибки встановлення Δ_{VS} при застосуванні ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ аналогічні причинам виникнення цієї складової, при застосуванні фотоелектричного ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом. Таким чином, можна вважати, що ця складова розподілена за нормальним законом розподілу, який визначається виразом (4.37), з СКВ σ_{VSH} та нульовим математичним очікуванням. СКВ похибки вимірювання рівня, при використанні ВП на основі МАЕ

$$\sigma_{HM} = \sqrt{\sigma_{VSH}^2 + \sigma_{KVH}^2} = \sqrt{\frac{h_{LM}^2}{48} + \sigma_{VSH}^2}. \quad (4.110)$$

Закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня, при використанні ВП на основі МАЕ визначається виразом (4.106). Підставивши (4.108) та (4.37) в (4.106), отримуємо закон розподілу абсолютної похибки вимірювання рівня молока при використанні ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ

$$p_H(\Delta_{HM}) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}\sigma_{VSH}h_{LM}} \int_{\frac{h_{LM}}{2}}^{\frac{h_{LM}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{HM} - z)^2}{2\sigma_{VSH}^2}\right) dz. \quad (4.111)$$

Розглянемо похибки вимірювання та достовірність контролю параметрів БТСД, при використанні вищевказаних ВП рівня з дискретним вихідним сигналом. На відміну від фотоелектричного ВП рівня молока з аналоговим вихідним сигналом, у випадку використання фотоелектричного ВП з дискретним вихідним сигналом, похибка квантування співрозмірна з похибкою встановлення, виходячи з цього, розподіл похибки вимірювання рівня відрізняється від нормального.

Похибка вимірювання поточного удою Δ_{VMP} , яка виникає при контролі часу припуску, визначається виразом (4.86). Як слідує з виразів (4.86) та (4.103), закон розподілу складової цієї похибки, що зумовлена квантуванням, при використанні фотоелектричного ВП з дискретним вихідним сигналом, визначається співвідношенням

$$p_{KV}(\Delta_{VMP}) = \begin{cases} \frac{1}{S_M d_{TK}}, & \Delta_{VMP} \in \left[-\frac{S_M d_{TK}}{2}; \frac{S_M d_{TK}}{2}\right] \\ 0, & \Delta_{VMP} \in \left(-\infty; -\frac{S_M d_{TK}}{2}\right) \cup \left(\frac{S_M d_{TK}}{2}; +\infty\right), \end{cases} \quad (4.112)$$

а закон розподілу її складової, яка зумовлена наявністю похибки встановлення при вимірюванні рівня, визначається виразом

$$p_{VS}(\Delta_{V_{MP}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_M \sigma_{H_M}} \exp\left(-\frac{\Delta_{V_{MP}}^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right). \quad (4.113)$$

Композиція законів розподілу цих двох незалежних складових

$$\begin{aligned} p(\Delta_{V_{MP}}) &= p_{VS}(\Delta_{V_{MP}}) * p_{KV}(\Delta_{V_{MP}}) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_M^2 d_{TK} \sigma_{H_M}} \int_{-\frac{S_M d_{TK}}{2}}^{\frac{S_M d_{TK}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz \end{aligned} \quad (4.114)$$

Сумісний двовимірний закон розподілу контрольованого параметра та похибки його вимірювання, визначається виразом

$$p(\Delta_{V_{MP}}, \check{V}_{MP}) = \frac{1}{2\pi S_M^2 d_{TK} \sigma_{MP} \sigma_{H_M}} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \int_{-\frac{S_M d_{TK}}{2}}^{\frac{S_M d_{TK}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz. \quad (4.115)$$

Підставивши (4.90), (4.91), (4.115) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = V_{MP\ MIN} - V_{MP\ S}$, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K\ MP}$ та помилку другого роду $\beta_{K\ MP}$ при вимірювальному контролі V_{MP} з застосуванням фотоелектричного ВП з дискретним вихідним сигналом

$$\alpha_{K\ MP} = \frac{\int_{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN}}^{\infty} \int_{-\infty}^{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN} - \check{V}_{MP}} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \cdot \left(\int_{-\frac{S_M d_{TK}}{2}}^{\frac{S_M d_{TK}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz \right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}}{2\pi S_M^2 d_{TK} \sigma_{MP} \sigma_{H_M}}; \quad (4.116)$$

$$\beta_{K\ MP} = \frac{\int_{-\infty}^{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN}} \int_{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \cdot \left(\int_{-\frac{S_M d_{TK}}{2}}^{\frac{S_M d_{TK}}{2}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz \right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}}{2\pi S_M^2 d_{TK} \sigma_{MP} \sigma_{H_M}}. \quad (4.117)$$

При використанні ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, як впливає з виразів (4.86) та (4.108), закон розподілу складової похибки вимірювання параметра V_{MP} на двадцятій секунді після початку доїння, яка зумовлена квантуванням, визначається виразом

$$p_{KV}(\Delta_{V_{MP}}) = \begin{cases} \frac{2}{S_M h_{LM}}, & \Delta_{H_M} \in \left[-\frac{S_M h_{LM}}{4}; \frac{S_M h_{LM}}{4} \right]; \\ 0, & \Delta_{H_M} \in \left(-\infty; -\frac{S_M h_{LM}}{4} \right) \cup \left(\frac{S_M h_{LM}}{4}; +\infty \right). \end{cases} \quad (4.118)$$

Закон розподілу складової похибки вимірювання V_{MP} на двадцятій секунді після початку доїння, яка зумовлена наявністю похибки встановлення, при використанні ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, визначається виразом (4.113). Композиція законів розподілу цих двох складових визначається виразом

$$p(\Delta_{V_{MP}}) = \frac{2}{\sqrt{2\pi} S_M^2 h_{LM} \sigma_{H_M}} \int_{-\frac{S_M h_{LM}}{4}}^{\frac{S_M h_{LM}}{4}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz. \quad (4.119)$$

Сумісний двовимірний закон розподілу контрольованого параметра та похибки його вимірювання визначається виразом

$$p(\Delta_{V_{MP}}, \check{V}_{MP}) = \frac{1}{\pi S_M^2 h_{LM} \sigma_{H_M} \sigma_{MP}} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \int_{-\frac{S_M h_{LM}}{4}}^{\frac{S_M h_{LM}}{4}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz. \quad (4.120)$$

Підставивши (4.90), (4.91), (4.120) в (4.1) та (4.6), з урахуванням того, що коефіцієнт асиметрії полів допуску дорівнює одиниці, систематична похибка вимірювання та контрольні прирости полів допуску дорівнюють нулю, $\bar{X}_1 = +\infty$, $\bar{X}_2 = V_{MP\ MIN} - V_{MP\ S}$, отримуємо вирази, які визначають помилку першого роду $\alpha_{K\ MP}$ та помилку другого роду $\beta_{K\ MP}$ при вимірному контролю V_{MP} на двадцятій секунді після початку доїння при використанні ВП з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ

$$\alpha_{K\ MP} = \frac{\int_{V_{MP\ S}}^{\infty} \int_{-V_{MP\ MIN}}^{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN} - \check{V}_{MP}} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \cdot \left(\int_{-\frac{S_M h_{LM}}{4}}^{\frac{S_M h_{LM}}{4}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz \right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}}{\pi S_M^2 h_{LM} \sigma_{H_M} \sigma_{MP}}; \quad (4.121)$$

$$\beta_{K\ MP} = \frac{\int_{-\infty}^{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN}} \int_{V_{MP\ S} - V_{MP\ MIN}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\check{V}_{MP}^2}{2\sigma_{MP}^2}\right) \cdot \left(\int_{-\frac{S_M h_{LM}}{4}}^{\frac{S_M h_{LM}}{4}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{V_{MP}} - z)^2}{2S_M^2 \sigma_{H_M}^2}\right) dz \right) d\Delta_{V_{MP}} d\check{V}_{MP}}{\pi S_M^2 h_{LM} \sigma_{H_M} \sigma_{MP}}. \quad (4.122)$$

При використанні фотоелектричного ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом та ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, інші параметри БТСД, які розглянуті у попередньому підрозділі, визначаються на основі суми або різниці результатів вимірювання рівня. Врахувавши, що на стійловій доільній установці, при використанні вищевказаних ВП у складі переносних БЗПД, похибка встановлення має більше значення, ніж похибка квантування, в першому наближенні можна припустити, що закон розподілу похибки вимірювання інших параметрів БТСД є нормальним, з нульовим математичним очікуванням. Виходячи з цього, для визначення характеристик похибки вимірювання та достовірності контролю цих параметрів, можна використати результати, що отримані у попередньому розділі. Таким чином, для визначення інших параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом, СКВ похибки вимірювання рівня молока визначається за виразом (4.105), при використанні ВП рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ – за виразом (4.110). Разовий удій тварини визначається за виразом (3.84), максимальне значення абсолютної похибки вимірювання разового удою тварини визначається за виразом (4.49), СКВ цієї похибки визначається за виразом (4.50), помилка першого роду $\alpha_{K V_R}$ та помилка другого роду $\beta_{K V_R}$ при вимірювальному контролі разового удою визначаються за виразами (4.54) та (4.55). Абсолютна похибка вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі визначається виразом (4.57), а її СКВ – виразом (4.58). При використанні вищевказаних ВП, абсолютна похибка вимірювання параметра I_{30} визначається виразом (4.63), її СКВ – виразом (4.64), помилки першого та другого роду $\alpha_{K I_{30}}$ та $\beta_{K I_{30}}$ при вимірювальному контролі цього параметра – відповідно виразами (4.67) та (4.68). Абсолютна похибка вимірювання параметра I_{60} визначається виразом (4.70), її СКВ – виразом (4.71), помилки першого та другого роду $\alpha_{K I_{60}}$ та $\beta_{K I_{60}}$ при вимірювальному контролі цього параметра – відповідно виразами (4.75) та (4.76). Абсолютна похибка вимірювання параметра I_{90} при використанні вищевказаних ВП, визначається виразом (4.78), її СКВ – виразом (4.79), помилки першого та другого роду $\alpha_{K I_{90}}$ та $\beta_{K I_{90}}$ вимірювального контролю цього параметра – відповідно виразами (4.83) та (4.84). Абсолютна похибка вимірювання миттєвого значення молоковіддачі визначається за виразом (4.95), її СКВ за виразом (4.96), помилка першого роду $\alpha_{K MVD}$ та помилку другого роду $\beta_{K MVD}$ при вимірювальному контролі миттєвої інтен-

сивності молоковіддачі в процесі визначення моменту переходу до додоювання – за виразами (4.99) та (4.100), помилка першого роду $\alpha_{K\ MVZ}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ MVZ}$ при вимірювальному контролі миттєвої інтенсивності молоковіддачі в процесі визначення моменту закінчення доїння – за виразами (4.101) та (4.102).

4.4 Достовірність вимірювального контролю параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі

Проведемо теоретичне дослідження похибки вимірювання та достовірності контролю параметрів БТСД при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, який розглянуто у підрозділі 3.8. Вираз (3.100), за яким у цьому випадку визначається миттєва інтенсивність молоковіддачі, можна представити у вигляді

$$I_{MV\ i} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4T_{MP\ i}} l_{MP} \pm \Delta_{MV}. \quad (4.123)$$

Виникнення абсолютної похибки вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі Δ_{MV} зумовлене нерівномірністю молочного потоку, неідентичністю характеристик фотоприймачів, зміною форми бульбашок повітря, що рухаються вздовж фотоприймачів, технологічним відхиленням від номінального значення відстані між фотоприймачами, наявністю похибки вимірювання часового інтервалу між фронтами вихідних імпульсних сигналів фотоприймачів, зміною форми цих фронтів протягом вимірювання часового проміжку між ними, деякими іншими факторами, серед яких неможливо виявити домінуючий. Виходячи з наведеного вище, та на основі проведених експериментальних досліджень, встановлено, що ця похибка розподілена за нормальним законом з певним СКВ σ_{MV} , та нульовим математичним очікуванням. Таким чином, помилка першого роду $\alpha_{K\ MVD}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ MVD}$, при вимірювальному контролі миттєвої інтенсивності молоковіддачі в процесі визначення моменту переходу до додоювання, визначаються виразами (4.99) та (4.100), помилка першого роду $\alpha_{K\ MVZ}$, та помилка другого роду $\beta_{K\ MVZ}$, при вимірювальному контролі миттєвої інтенсивності молоковіддачі в процесі визначення моменту закінчення доїння, визначаються виразами (4.101) та (4.102).

Представимо вираз (3.102), за яким визначається разовий удій тварини протягом одного доїння при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, у вигляді

$$\begin{aligned}
V_R &= \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} \frac{I_{MV\ i+1} + I_{MV\ i} \pm 2\Delta_{MV}}{2} (t_{i+1} - t_i) \pm \Delta_{KLI} = \\
&= \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} \frac{I_{MV\ i+1} + I_{MV\ i}}{2} (t_{i+1} - t_i) \pm \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} \Delta_{MV} (t_{i+1} - t_i) \pm \Delta_{KLI},
\end{aligned} \tag{4.124}$$

де Δ_{KLI} – складова абсолютної похибки вимірювання удою, виникнення якої зумовлене інтегруванням кусочно-лінійної інтерполюючої функції залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу.

Як впливає з виразу (4.124), максимальне значення абсолютної похибки вимірювання разового удою визначається співвідношенням

$$\Delta_{V_R} = \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} \Delta_{MV} (t_{i+1} - t_i) + \Delta_{KLI}. \tag{4.125}$$

СКВ абсолютної похибки вимірювання разового удою, з урахуванням незалежності її складових, визначається співвідношенням

$$\sigma_{V_R} = \sqrt{\sigma_{KLI}^2 + \sigma_{MV}^2 \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} (t_{i+1} - t_i)^2}, \tag{4.126}$$

де σ_{KLI} – СКВ складової абсолютної похибки вимірювання удою, яка зумовлена інтегруванням кусочно-лінійної інтерполюючої функції залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу.

Припустивши, що складова похибки, яка зумовлена інтегруванням кусочно-лінійної інтерполюючої функції залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу, розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням, можна вважати, що абсолютна похибка вимірювання удою теж має нормальний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням. Таким чином, помилка першого роду $\alpha_{K\ V_R}$, та помилка другого роду $\beta_{K\ V_R}$, при вимірювальному контролі разового удою тварини, визначаються виразами (4.54) та (4.55).

СКВ похибки вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, як впливає з (4.56), визначається виразом

$$\sigma_{MS} = \frac{1}{t_D} \sqrt{\sigma_{KLI}^2 + \sigma_{MV}^2 \sum_{i=1}^{N_{MP}-1} (t_{i+1} - t_i)^2}. \tag{4.127}$$

З тих самих причин, що і похибка вимірювання разового удою, похибка вимірювання середньої інтенсивності молоковіддачі розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Виходячи з цього, помилка першого роду $\alpha_{K\ I_{MS}}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ I_{MS}}$ при вимірювальному контролі середньої інтенсивності молоковіддачі, визначаються виразами (4.60) та (4.61).

Визначимо похибку вимірювання поточного удою на двадцятій секунді після початку доїння при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі. Представимо вираз (3.105), за яким визначається поточний удій тварини у довільний момент часу $t_{RP} \in (t_j, t_{j+1})$ на основі результатів вимірювання інтенсивності молоковіддачі протягом доїння, у вигляді

$$V_{RP}(t_{RP}) = \frac{1}{2} \left(2(I_{MV_j} \pm \Delta_{MV})(t_{RP} - t_j) + \frac{I_{MV_{j+1}} - I_{MV_j} \pm 2\Delta_{MV}}{t_{j+1} - t_j} (t_{RP} - t_j)^2 \right) + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV_{i+1}} + I_{MV_i} \pm 2\Delta_{MV}}{2} (t_{i+1} - t_i) \pm \Delta_{KLI}. \quad (4.128)$$

З виразу (4.128), після нескладних перетворень, отримуємо вираз для максимального значення абсолютної похибки вимірювання поточного удою у довільний момент часу t_{RP}

$$\Delta_{V_{RP}} = \pm \Delta_{MV} (t_{RP} - t_j) \pm \frac{\Delta_{MV}}{t_{j+1} - t_j} (t_{RP} - t_j)^2 \pm \sum_{i=1}^{j-1} \Delta_{MV} (t_{i+1} - t_i) + \Delta_{KLI}. \quad (4.129)$$

СКВ похибки вимірювання поточного удою у довільний момент часу t_{RP} при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, як впливає з аналізу (4.128) та (4.129), визначається виразом

$$\sigma_{V_{RP}} = \sqrt{2\sigma_{MV}^2 \left(\frac{(t_{RP} - t_j)^4}{(t_{j+1} - t_j)^2} + (t_{RP} - t_j)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{j-1} (t_{i+1} - t_i)^2 \right) + \sigma_{KLI}^2}. \quad (4.130)$$

Похибка вимірювання поточного удою у довільний момент часу, з тих самих причин, що і похибка вимірювання разового удою, розподілена за нормальним законом розподілу з нульовим математичним очікуванням. Таким чином, поточний удій тварини на двадцятій секунді після початку доїння, визначається за виразом (3.105) при $t_{RP} = 20$ с, помилка першого роду α_{KMP} , та помилка другого роду β_{KMP} , при вимірювальному контролі поточного удою на двадцятій секунді після початку доїння, визначаються за виразами (4.92) та (4.93).

Як впливає з (3.86), (4.129) та (4.130), СКВ похибки вимірювання параметра I_{30} , при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, при $t_{RP} = t_{RP_{30}} = 30$ с, визначається виразом

$$\sigma_{\Delta I_{30}} = \frac{1}{T_{30}} \sqrt{2\sigma_{MV}^2 \left(\frac{(t_{RP\ 30} - t_j)^4}{(t_{j+1} - t_j)^2} + (t_{RP\ 30} - t_j)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{j-1} (t_{i+1} - t_i)^2 \right) + \sigma_{KLI}^2}. \quad (4.131)$$

Похибка вимірювання параметра I_{30} , як і похибка вимірювання поточного удою у довільний час t_{RP} , має нормальний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням. Таким чином, помилка першого роду $\alpha_{K\ I_{30}}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ I_{30}}$ при вимірювальному контролі параметра I_{30} , визначаються виразами (4.67) та (4.68).

Як впливає з виразу (3.87) та (4.69), СКВ похибки вимірювання параметра I_{60} при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, визначається співвідношенням

$$\sigma_{\Delta I_{60}} = \frac{1}{T_{30}} \sqrt{2\sigma_{MV}^2 \left(\frac{(t_{RP\ 30} - t_j)^4}{(t_{j+1} - t_j)^2} + (t_{RP\ 30} - t_j)^2 + \frac{(t_{RP\ 60} - t_r)^4}{(t_{r+1} - t_r)^2} + (t_{RP\ 60} - t_r)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{j-1} (t_{i+1} - t_i)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{r-1} (t_{i+1} - t_i)^2 \right) + 2\sigma_{KLI}^2}, \quad (4.132)$$

де r – порядковий номер вимірювання інтенсивності молоковіддачі, яке було проведено перед моментом часу $t_{RP\ 60} = 60$ с.

Похибка вимірювання параметра I_{60} складається з похибок вимірювання поточного удою в моменти часу $t_{RP\ 30}$ та $t_{RP\ 60}$, які розподілені за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Виходячи з цього, вказана вище похибка вимірювання також розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Таким чином, помилка першого роду $\alpha_{K\ I_{60}}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ I_{60}}$ вимірювального контролю параметра I_{60} при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, визначаються виразами (4.75) та (4.76).

Як впливає з виразів (3.78) та (4.77), при використанні фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, СКВ похибки вимірювання параметра I_{90} визначається виразом

$$\sigma_{\Delta I_{60}} = \frac{1}{T_{30}} \sqrt{2\sigma_{MV}^2 \left(\frac{(t_{RP\ 90} - t_v)^4}{(t_{v+1} - t_v)^2} + (t_{RP\ 90} - t_v)^2 + \frac{(t_{RP\ 60} - t_r)^4}{(t_{r+1} - t_r)^2} + (t_{RP\ 60} - t_r)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{v-1} (t_{i+1} - t_i)^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{r-1} (t_{i+1} - t_i)^2 \right) + 2\sigma_{KLI}^2}, \quad (4.133)$$

де ν – порядковий номер вимірювання інтенсивності молоковіддачі, яке було проведено перед моментом часу $t_{RP\ 90} = 90$ с.

Похибка вимірювання параметра I_{90} складається з похибок вимірювання поточного удою в моменти часу $t_{RP\ 60}$ та $t_{RP\ 90}$, які розподілені за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Виходячи з цього, аналогічно попередньому випадку, вищевказана похибка також розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Таким чином, помилка першого роду $\alpha_{K\ I_{90}}$ та помилка другого роду $\beta_{K\ I_{90}}$ при вимірювальному контролі параметра I_{90} , з застосуванням фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі, визначаються виразами (4.83) та (4.84).

4.5 Висновки

1. Запропоновано та теоретично обґрунтовано спосіб вимірювального контролю тривалості роботи існуючих доїльних установок при використанні різних типів доїльних апаратів. На основі розроблених статистичних моделей роботи доїльних установок отримано вирази, які визначають закони розподілу тривалості їх роботи та похибки її вимірювання. Також отримано теоретичні вирази для визначення допустимого відхилення тривалості роботи доїльних установок та достовірності вимірювального контролю цього параметра.

2. Проведено теоретичний аналіз похибки вимірювання разового удою, часу припуску, середньої інтенсивності молоковіддачі, інтенсивності молоковіддачі протягом тридцяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд від початку доїння, поточного удою, миттєвої інтенсивності молоковіддачі, при використанні фотоелектричного ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з аналоговим вихідним сигналом. Отримано теоретичні вирази для визначення законів розподілу вищевказаних ПБТСД, похибки їх вимірювання, визначення достовірності вимірювального контролю.

3. Теоретично проаналізовано похибки вимірювання разового удою, часу припуску, середньої інтенсивності молоковіддачі, інтенсивності молоковіддачі протягом тридцяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від тридцяти до

шістдесяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд від початку доїння, поточного удою, миттєвої інтенсивності молоковіддачі, при використанні фотоелектричних ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з дискретним вихідним сигналом. Отримано теоретичні вирази для визначення законів розподілу контрольованих ПБТСД, похибки їх вимірювання, визначення достовірності вимірювального контролю.

4. Теоретично досліджено похибки вимірювання разового удою, часу припуску, середньої інтенсивності молоковіддачі, інтенсивності молоковіддачі протягом тридцяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд від початку доїння, інтенсивності молоковіддачі протягом інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд від початку доїння, поточного удою, миттєвої інтенсивності молоковіддачі при використанні запропонованого фотоелектричного ВП миттєвої інтенсивності молоковіддачі. Отримано теоретичні вирази для визначення законів розподілу вищевказаних вимірюваних ПБТСД, похибки їх вимірювання, визначення достовірності вимірювального контролю.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БТСД

5.1 Апаратна реалізація засобів вимірювання та вимірювального контролю параметрів БТСД

Теоретичні та експериментальні дослідження, результати яких наведені у роботі, виконувалися на кафедрі «Метрологія та промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету у співпраці з фахівцями кафедри «Економічна кібернетика» Вінницького національного аграрного університету. Дослідження проводилися у відповідності з прикладним дослідженням № 42–Д–374 за рахунок видатків державного бюджету «Методи та інформаційно-вимірювальні системи контролю зоотехнічних параметрів тварин та параметрів технологічних процесів у тваринницьких фермах», а також у відповідності з кафедральною науково-дослідною роботою кафедри «Метрологія та промислова автоматика» Вінницького національного технічного університету № 42К1 «Інформаційно-вимірювальні системи зоотехнічних та технологічних параметрів доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм». Певні роботи виконувалась сумісно з фахівцями підприємства ТОВ фірми «Муссон», м. Вінниця, Україна, у відповідності з договором про творчу співдружність № 1 від 27.04.2014, між ТОВ фірмою «Муссон» та Вінницьким національним технічним університетом, та фахівцями ТДВ «Брацлав», с. м. т. Брацлав, Немирівський район Вінницької області, Україна. Промислове виробництво апаратних та програмних засобів та засобів контролю параметрів БТСД, у яких використані результати проведених досліджень, здійснювалося ТОВ фірмою «Муссон» (договір про постачання обладнання № 4 від 04.01.2010) та ТОВ фірмою «Паллар ЛТД», м. Вінниця, Україна, (договір про постачання обладнання № 5 від 05.01.2010), на замовлення підприємства ТДВ «Брацлав». Окрім того, впроваджені у виробництво апаратно-програмні засоби використовуються у доїльному обладнанні СООО «Экомилк», Білорусь, м. Пінськ.

Результати проведених досліджень були використані при створенні таких технічних засобів. Для використання у складі різних варіантів ІВС ПБТСД на доїльних установках для безприв'язного утримання тварин було розроблено та впроваджено у виробництво лінійку БЗПД. БЗПД «Індикатор інтенсивності доїння «ІД–02» використовується на

безприв'язних доїльних установках найнижчої цінової категорії, його зовнішній вигляд наведений на рис. 5.1.

БЗПД «ІД-02» призначений для роботи з доїльними апаратами без функції керування процесом доїння, за його допомогою забезпечується вимірювання та візуалізація індивідуального удою тварин без їх ідентифікації, вимірювання інтенсивності молоковіддачі, визначення моменту закінчення доїння на основі результатів контролю інтенсивності молоковіддачі, формування сигналу необхідності ручного зняття доїльного апарата, передавання інформації про індивідуальний удій тварини до ЗВКМ. Для вимірювання параметрів молоковіддачі використовується ковшовий ВП [182–187], автоматично виявляється «нормально замкнений» та «нормально розімкнений» геркон перетворювача, реалізовано захист від «дрижання контактів». «ІД-02» забезпечує вимірювання індивідуального удою тварин в діапазоні від 0,1 кг до 99,9 кг з дискретністю 0,1 кг, зведена похибка вимірювання в діапазоні від 0,1 кг до 10 кг складає 2 %, в діапазоні від 10 кг до 99,9 кг – 5 %. Відносна похибка вимірювання та формування необхідних часових інтервалів не перевищує 0,1 %. Передавання інформації про індивідуальний удій до ЗВКМ забезпечується за допомогою «струмової петлі» та дводрової лінії передачі даних з гальванічною розв'язкою. За допомогою індикатора та сигнального світлодіода забезпечується візуалізація поточного удою та сигналу про необхідність ручного зняття доїльного апарата.

За допомогою БЗПД «Блок доїння «БД-05» забезпечується управління електроклапанною системою маніпулятора, здійснюється управління електромагнітним попарним пульсатором з метою керування процесом доїння, забезпечується вимірювання усіх необхідних параметрів технологічного процесу та їх візуалізація, за допомогою інтегрованого БКЗТ здійснюється взаємодія з ЗТ для забезпечення автоматизованої радіочастотної ідентифікації тварин, за посередництва БЗОД здійснюється обмін даними з сервером системи. Зовнішній вигляд БЗПД «БД-05» наведений на рис. 5.2.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд БЗПД «Індикатор інтенсивності доїння «ІД-02»

У БЗПД «БД-05» для вимірювання параметрів молоковіддачі використовується ковшовий ВП, у якості опції можливе використання фотоелектричного ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата та зовнішнього ЗВ електропровідності молока. За допомогою «БД-05» забезпечується вимірювання разового удою в межах від 0,1 кг до 99,9 кг з дискретністю 0,1 кг. Зведена похибка вимірювання удою, при використанні ковшового ВП, складає 2 %, якщо удій не перевищує 10 кг, та 5 %, якщо удій перевищує 10 кг. Відносна похибка вимірювання та формування часових інтервалів не перевищує 0,1 %. При використанні ковшового ВП забезпечується автоматичне виявлення «нормально замкненого» та «нормально розімкненого» геркона, реалізований захист від «дрижання контактів». Для забезпечення обміну даними з сервером за посередництва БЗОД, у «БД-05» використовується двонаправлена гальванічно ізольована «струмова петля», обмін здійснюється у дуплексному або симплексному режимах. При роботі у складі ІВС ПБТСД для кожного «БД-05» встановлюється унікальний мережевий номер. Обмін інформацією здійснюється у пакетному режимі. Для підвищення надійності обміну даними до складу пакетів входять відповідні їм контрольні суми. БЗПД «БД-05» забезпечує вимірювання та передачу до сервера системи інформації про разовий удій тварини, тривалість доїння, розподіл удою за першими трьома тридцятисекундними інтервалами з початку доїння, стадний номер тварини та номер її транспондера, наявність маститу або його ступінь у чвертях вимені, наявність травмованості тварини, наявність у тварини стану «охоти», мережевий номер, результати вимірювання електропровідності молока, кількість відпадань доїльних стаканів, часу припуску. Також «БД-05» забезпечує контроль миттєвої інтенсивності молоковіддачі. За допомогою індикатора та сигнальних світлодіодів забезпечується візуалізація стадного номера тварини, поточного та загального удою, мережевого номера, певної службової інформації, ступеня маститу у кожній чверті вимені, наявності маститу, травмованості, стану «охоти», низького удою, сигналу про заборону доїння даної тварини. Інформація про низький удій надходить від сервера системи після закінчення доїння у випадку, якщо отриманий



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд БЗПД «Блок доїння «БД-05»

удій на двадцять і більше відсотків менший, ніж аналогічний удій у попередній день. Інформація про заборону доїння у певних випадках надходить від сервера після ідентифікації тварини (наприклад, якщо тварина хвора, або приймає антибіотики). За допомогою клавіатури, яка інтегрована до «БД–05», забезпечується введення чотиризначного стадного номера тварини при використанні ручної ідентифікації, інформації про наявність у тварини маститу, ступеня маститу у кожній чверті вимені, інформації про те, що тварини травмована, знаходиться в стані «охоти», здійснюється програмування мережевого номера та певних режимів роботи. За допомогою «БД–05» забезпечується передавання даних до ЗВКМ, для цього використовується «струмова петля» з дводровою лінією передачі імпульсів з гальванічною розв'язкою. При використанні «БД–05» у складі ІВС ПБТСД можливе застосування ручної та автоматизованої ідентифікації тварин.

При застосуванні автоматизованої ідентифікації, кожний «БД–05» обладнується розробленим та впровадженим у виробництво ЗТ «АР–01» малого радіуса дії, зовнішній вигляд якого наведений на рис. 5.3.

ЗТ «АР–01» виконаний в ударостійкому корпусі з полікарбонату, усі електронні компоненти захищені шаром епоксидного компаунду, завдяки чому забезпечується ступінь захисту від зовнішніх впливів IP68 та діапазон робочої температури від 0 до +50 °С. Відстань зчитування коду транспондерів формату «Em-magine» [216] складає не менше десяти сантиметрів, індикація успішного читання коду транспондера забезпечується за допомогою сигнальних світлодіодів.

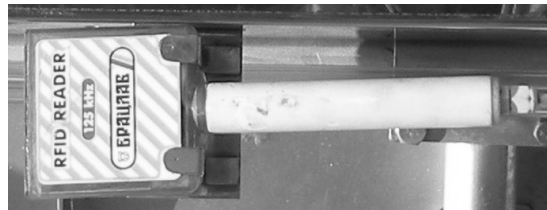


Рисунок 5.3 – Зовнішній вигляд ЗТ малого радіуса дії «АР–01»

При автоматизованій ідентифікації транспондери закріплюються на задній нозі тварин. Перед початком доїння дояр ідентифікує тварину шляхом піднесення ЗТ до транспондера, після чого починає процес підготовки до доїння. Зовнішній вигляд транспондера для автоматизованої радіочастотної ідентифікації, який закріплюється на нозі тварини, показаний на рис. 5.4. Впроваджені у виробництво транспондери реалізовані на основі стандартних карткових транспондерів формату «Em-magine» з робочою частотою 125 кГц виробництва «Sokumat» [217], які знаходяться в ударостійкому пластиковому корпусі. За допомогою ремня корпус кріпиться до нижньої частини правої або лівої задньої ноги тварини.

БЗПД «BigMilk «БД-06» використовується на безприв'язних доїльних установках високої цінової категорії, його зовнішній вигляд наведений на рис. 5.5. За допомогою БЗПД «БД-06» здійснюється управління електромагнітним попарним пульсатором для забезпечення керування процесом доїння, забезпечується управління стандартною електроклапанною системою маніпулятора та системою з додатковими електроклапанами підтримки, за допомогою інтегрованого БКЗТ здійснюється взаємодія з ЗТ при застосуванні автоматизованої радіочастотної ідентифікації, забезпечується обмін даними з зовнішніми БКЗТ при застосуванні автоматичної ідентифікації, забезпечується управління входними та вихідними воротами сторін доїльної установки, за посередництва БЗОД здійснюється обмін даними з сервером системи. БЗПД «БД-06» забезпечує вимірювання разового удою, тривалості доїння, розподілу удою за першими трьома тридцятисекундними інтервалами з початку доїння, електропровідності молока (в тому числі окремо для кожної чверті вимені), контроль миттєвої інтенсивності молоковіддачі, кількості відпадань доїльних стаканів, часу припуску. Для вимірювання параметрів молоковіддачі може використовуватися ковшовий ВП та фотоелектричний ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата. При використанні ковшового ВП метрологічні характеристики БЗПД «БД-06» аналогічні характеристикам «БД-05». Окрім результатів вимірювання вищевказаних параметрів, «БД-06» забезпечує передавання до сервера системи стадного номера тварини та номера її транспондера, інформації про наявність маститу або його ступінь у чвертях вимені, інформації про наявність травмованості тварини та стану «охоти», мережевий номер. Інтерфейс для обміну даними з сервером системи та спосіб передавання даних до ЗВКМ аналогічні тим, що використовуються у «БД-05». За допомогою індикатора та сигнальних світлодіодів забезпечується візуалізація спрацьовуван-

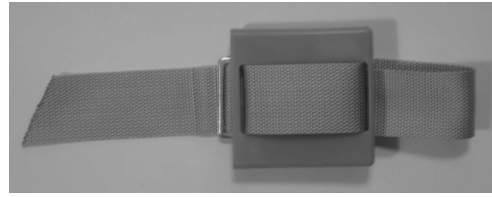


Рисунок 5.4 – Транспондер для автоматизованої радіочастотної ідентифікації, який закріплюється на нозі тварини



Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд БЗПД «BigMilk «БД-06»

ня електроклапанів, стану входних та вихідних воріт, процесу обміну даними з сервером системи, шестирозрядного стадного номера тварини, поточного та загального удою, мережевого номера «БД-06», необхідної службової інформації, ступеня маститу у кожній чверті вимені, наявності маститу, травмованості, стану «охоти», низького удою, сигналу про заборону доїння даної тварини, електропровідності молока. За допомогою клавіатури «БД-06» забезпечується введення шестизначного стадного номера тварини при використанні ручної ідентифікації, інформації про наявність у тварини маститу, ступеня маститу у кожній чверті вимені, інформації про те, що тварини травмована, знаходиться в стані «охоти», програмування мережевого номера та певних режимів роботи, відкриття та закриття входних та вихідних воріт. При використанні «БД-06» у складі ІВС ПБТСД можливе застосування ручної, автоматизованої та автоматичної ідентифікації тварин. При застосуванні ручної ідентифікації номер тварини вводиться вручну, при автоматизованій ідентифікації кожний «БД-06» обладнується ЗТ «АР-01», як при використанні «БД-05».

Для реалізації у ІВС ПБТСД автоматичної радіочастотної ідентифікації тварин на групових доїльних установках типу «Ялинка» та «Паралель», використовується спеціальний прилад «Блок центрального рідера «БЦР-01», який встановлюється на вході до кожної сторони робочої траншеї установки. Зовнішній вигляд приладу «БЦР-01» показаний на рис. 5.6. Конструктивно, прилад «БЦР-01» являє собою БПТ інтегрований з БКЗТ. У якості давача проходження тварини використовується оптичний давач присутності об'єкта WE-T3AD виробництва «Highly Electric» [218], або аналогічний. Прилад розрахований на сумісне функціонування з ЗТ типу PNL-2530, PNL-4060-3, або PNL-60120 виробництва Allflex USA Inc., та транспондерами формату HDX з робочою частотою 134 кГц [94], які закріплюються у вусі або на шиї тварини. Для підвищення достовірності ідентифікації тварин можливе використання двоконтурної ортогональної антени у комплексі з вищевказаними ЗТ. Радіочастотна ідентифікація здійснюється під час руху тварин при входженні їх на сторону доїльної установки. «БЦР-01» забезпечує отримання,



Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд приладу «Блок центрального рідера «БЦР-01»

обробку, буферизацію та необхідне перетворення кодів транспондерів, які надходять від ЗТ. Використовуючи оптимальну лінійну фільтрацію, «БЦР-01» здійснює ідентифікацію проходження тварин та їх підрахунок у потоці, керує блоком управління вхідними воротами (БУВ), забезпечує обмін даними з сервером системи та візуалізацію поточних параметрів процесу ідентифікації та черги тварин. За допомогою «БЦР-01» забезпечується передача до сервера системи коду транспондера або інформації про помилку ідентифікації тварини, номера доїльного станка, у якому знаходиться тварина. Інтерфейс, за допомогою якого здійснюється обмін даними з сервером системи та БУВ, аналогічний інтерфейсу, який є в «БД-05» та «БД-06». При використанні «БЦР-01» забезпечується необмежений час знаходження тварини в робочій зоні ЗТ, мінімальний час між надходженням кодів транспондерів складає 0,8 с, можливий будь-який рух тварин у робочій зоні ЗТ після закриття вхідних воріт та до моменту їх відкриття. За допомогою інтегрованої клавіатури можливе програмування часу затримки автоматичного закриття вхідних воріт, мінімальної тривалості вихідного сигналу давача проходження тварини, мережевого номера першого БЗПД на стороні установки, мережевого номера останнього БЗПД на стороні установки, режиму дозволу автоматичного закриття вхідних воріт за останньою твариною у потоці. У відповідності з керуючими сигналами, які надходять від «БЦР-01», БУВ здійснює автоматичне відкриття вхідних воріт для входження групи тварин, та їх автоматичне закриття після того, як усі тварини групи розташувалися у доїльних станках сторони установки. За допомогою чотирирозрядного індикатора візуалізуються три останніх цифри коду транспондера, поточний номер тварин групи у черзі, положення вхідних воріт, часового інтервалу перед автоматичним закриттям вхідних воріт, часу проходження тварини, мережевого номера першого БЗПД на стороні установки, мережевого номера останнього БЗПД на стороні установки. Забезпечується індикація спрацьовування давача проходження тварини, процесу обміну даними з сервером системи, режимів програмування, надходження коду транспондера, наявності тварини без транспондера.

У багатьох випадках, на доїльних установках низької цінової категорії, використовуються доїльні апарати з функцією керування процесом доїння. Для використання у складі таких доїльних установок використовується БЗПД «Standard «БД-07», зовнішній вигляд якого показаний на рис. 5.7.

За допомогою БЗПД «БД–07» здійснюється управління попарним електромагнітним пульсатором для забезпечення керування процесом доїння, здійснюється управління стандартною електроклапанною системою маніпулятора та системою з додатковими електроклапанами підтримки, забезпечується управління вхідними та вихідними воротами сторін доїльної установки. БЗПД «БД–07» забезпечує передачу даних до ЗВКМ, вимірювання та візуалізацію разового удою, тривалості доїння, миттєвої інтенсивності молоковіддачі, часу припуску. Як і у «БД–05» та «БД–06», для вимірювання параметрів молоковіддачі може використовуватися ковшовий ВП та фотоелектричний ВП рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата з аналоговим вихідним сигналом. При використанні ковшового ВП метрологічні характеристики БЗПД «БД–07» аналогічні характеристикам «БД–05» та «БД–06».

При використанні у складі доїльної установки селекційних воріт, для забезпечення їх функціонування використовується розроблений та впроваджений у виробництво БКСВ «Блок управління селекційними воротами «БУСВ–01», зовнішній вигляд якого показаний на рис. 5.8. До складу БКСВ «БУСВ–01» входить БПТ, БКЗТ, та засоби керування виконавчими механізмами селекційних воріт. У якості давача проходження тварини використовується оптичний давач присутності об'єкта E3Z–D62 виробництва «Omron Corporation» [155], або аналогічний. «БУСВ–01» розрахований на сумісне функціонування з ЗТ великого радіусу дії типу PNL–2530, PNL–4060–3 або PNL–60120 виробництва Allflex USA Inc., та транспондерами формату HDX, які закріплюються у вусі або на шиї тварини. Радіочастотна ідентифікація здійснюється під час руху тварин при наближенні їх до селекційних воріт. При використанні «БУСВ–01» забезпечується отримання, обробка, буферизація та необхідне перетворення кодів



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд БЗПД «Standard «БД–07»



Рисунок 5.8 – Зовнішній вигляд БКСВ «Блок управління селекційними воротами «БУСВ–01»

транспондерів, які надходять від ЗТ. З використанням оптимальної лінійної фільтрації «БУСВ–01» здійснює ідентифікацію проходження тварин та їх підрахунок у потоці, за допомогою електроклапанів забезпечується керування привідними механізмами селекційних воріт, здійснюється обмін даними з сервером системи та візуалізація поточних параметрів процесу керування селекційними воротами. «БУСВ–01», за посередництва БЗОД, забезпечує передачу до сервера системи коду транспондера тварини, яка наближається до селекційних воріт. Після цього, сервер повертає до «БУСВ–01» інформацію про необхідне положення селекційних воріт. Інтерфейс, за допомогою якого «БУСВ–01» здійснює обмін даними з сервером системи, аналогічний інтерфейсу, який мають «БД–05» та «БД–06». При використанні «БУСВ–01» забезпечується необмежений час знаходження тварини в робочій зоні ЗТ, мінімальний час між надходженням кодів транспондерів складає 0,8 с, можливий будь–який рух тварин у робочій зоні ЗТ. За допомогою відповідних кнопок на лицьовій панелі «БУСВ–01» можливе ручне встановлення селекційних воріт у необхідне положення. За допомогою сигнальних світлодіодів забезпечується індикація поточного стану селекційних воріт та індикація спрацьовування давача проходження тварини.

Впроваджений у виробництво БКЧУ «Пристрій для чесання тварин «КОМФОРТ–01» призначений для автоматичного керування чесальною установкою у приміщеннях, де утримується велика рогата худоба, його зовнішній вигляд наведений на рис. 5.9. «КОМФОРТ–01» розрахований на сумісну роботу з однофазними мотор–редукторами з номінальною потужністю не більше 400 Вт та може працювати цілодобово, алгоритм його роботи такий. Коли у тварини виникає бажання користування чесальною установкою, вона входить у її робочу

зону, після цього спрацьовує давач БКПТ. За сигналом від БКПТ вмикається мотор–редуктор, і щітка обертається протягом тридцяти секунд. Коли в робочу зону чесальної установки входить наступна тварина, щітка обертається у протилежному напрямку. Це необхідно для того, щоб ворс щітки не загинався весь час у одному напрямку. Таке



Рисунок 5.9 – Зовнішній вигляд БКЧУ «Пристрій для чесання тварин «КОМФОРТ–01»

рішення дозволяє значно збільшити ресурс щітки. Якщо під час роботи чесальної установки виникне намотування хвоста тварини на вал щітки, відбудеться заклинювання ротора електричного двигуна мотор-редуктора, в результаті струм його споживання, який вимірюється, значно збільшиться. У цьому випадку, «КОМФОРТ-01» зупиняє електродвигун, після чого здійснює п'ять обертів щітки у протилежному напрямку з метою розмотування хвоста. Якщо після цього струм споживання електричного двигуна не зменшився, відбувається аварійна зупинка чесальної установки. Про цю подію сигналізує відповідний світлодіод на лицевій панелі. Після усунення причини заклинювання ротора електричного двигуна, вручну здійснюється перезапуск чесальної установки. Для збільшення точності вимірювання параметрів обертального руху в умовах великих електромагнітних завад, у «КОМФОРТ-01» здійснюється вимірювальне перетворення вихідного сигналу вищевказаного перетворювача у частоту з застосуванням гальванічної розв'язки сигнальних кіл. «КОМФОРТ-01» може функціонувати сумісно з зовнішнім БКЗТ та ЗТ типу PNL-2530, PNL-4060-3 або PNL-60120 виробництва Allflex USA Inc., та транспондерами формату HDX, які закріплюються у вусі, шиї або на нозі тварини. У цьому випадку забезпечується ідентифікація тварини та вимірювання кількості користувань чесальною установкою та часу користування чесальною установкою. Результати вимірювання, за посередництва БЗОД, передаються до сервера системи ІВС ПБТСД.

Розроблений та впроваджений у виробництво БУДМ «Блок управління дозатором молока «БУДМ-01» призначений для використання на стійлових доїльних установках. Зовнішній вигляд «БУДМ-01» показаний на рис. 5.10.

За допомогою «БУДМ-01» забезпечується формування та транспортування порцій молока, які утворюються у дозаторі, в молокоприймальну ємність, звідки вони спрямовується в автоматичну мішалку або холодильну установку. «БУДМ-01» під час автоматичного промивання молокопроводу установки може працювати у відповідності з командами, які надходять від блоків управління автоматом промивання «БУАП-02» та «БУАП-03», або у повністю автономному режимі. Пропуск-



Рисунок 5.10 – Зовнішній вигляд БУДМ «Блок управління дозатором молока «БУДМ-01»

на здатність «БУДМ–01» складає 800 кг/год, що дозволяє використувати його на фермах з прив'язним утриманням високопродуктивних корів. Під час доїння відбувається періодичне наповнення дозатора молоком, рівень молока вимірюється за допомогою «БУДМ–01», можливе використання поплавкового порогового давача рівня, фотоелектричного ВП рівня з аналоговим вихідним сигналом, ВП рівня з дискретним вихідним сигналом. Після досягнення рівнем молока значення, яке відповідає необхідному об'єму порції, «БУДМ–01» здійснює відкриття зливного електроклапана та забезпечує підрахунок сформованих порцій. Час відкриття зливного електроклапана встановлюється програмно, в залежності від об'єму порції. «БУДМ–01» забезпечує підрахунок та відображення кількості сформованих порцій молока в діапазоні від 0 до 999, час відкриття зливного електроклапана може бути встановлений в межах від 0,1 до 5 с з дискретністю 0,1 с. За допомогою сигнальних світлодіодів забезпечується індикація спрацьовування зливного електроклапана, та електроклапана, який використовується при промиванні. При зникненні напруги живлення «БУДМ–01» забезпечує збереження налаштувань та результатів підрахунку порцій у енергонезалежній пам'яті. При розташуванні у дозаторі ЗВ відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, можливе виявлення фактів фальсифікації молока доярами. Також можливе одночасне використання ЗВ електропровідності молока з метою підвищення достовірності виявлення фактів фальсифікації молока водою. Інформація про кількість сформованих порцій передається до ЗВКМ, за посередництва БЗОД до сервера ІВС ПБТСД передається інформація про номер доїльної лінії, кількість сформованих порцій, наявність води у молоці, електропровідність молока.

Розроблений та впроваджений у виробництво БЗОД «Інтерфейсний блок Spider «ІБ–04» призначений для роботи у складі ІВС ПБТСД на доїльних установках типу «Ялинка», «Паралель», «Карусель», «Тандем» при використанні БЗПД «БД–05» та «БД–06», та на стійлових доїльних установках, при використанні БУДМ «БУДМ–01». Зовнішній вигляд «ІБ–04» показаний на рис. 5.11. «ІБ–04» забезпечує високонадійний двонаправлений обмін даними по шести каналах між «БД–05», «БД–06», «БУДМ–01», «КОМФОРТ–01», «БУСВ–01», «БЦР–01» та сервером ІВС ПБТСД за допомогою гальванічно ізольованої «струмової петлі» при використанні програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2». Для здійснення обміну даними з сервером ІВС ПБТСД, «ІБ–04» забезпечує двонаправлене перетворення «струмової петлі» в інтерфейс USB 2.0 по шести каналах.

Максимальна відстань обміну даними, яку забезпечує «ІБ-04», складає 500 м, максимальна кількість пристроїв, які можуть здійснювати обмін даними при використанні одного каналу, дорівнює шістнадцяти. «ІБ-04» має інтегровану енергонезалежну пам'ять для резервного зберігання даних сервера ІВС ПБТСД. За допомогою світлодіодів забезпечується індикація наявності напруги живлення та передачі і прийому даних у кожному каналі.



Рисунок 5.11 – Зовнішній вигляд БЗОД «Інтерфейсний блок Spider «ІБ-04»

Розроблений та впроваджений у виробництво ЛПМ «СПМ-02», використовується на стійлових доїльних установках та призначений для підрахунку порцій молока сформованих дозатором, зовнішній вигляд «СПМ-02» наведено на рис. 5.12.

Пропускна здатність «СПМ-02» складає 600 кг/год, при його використанні забезпечується підрахунок та відображення кількості порцій молока в діапазоні від 0 до 999, зведена похибка підрахунку порцій не перевищує 0,1 %. При зникненні напруги живлення, «СПМ-02» забезпечує зберігання результатів підрахунку у енергонезалежній пам'яті. У «СПМ-02» ідентифікація проходження порції молока здійснюється з використанням оптимальної лінійної фільтрації, також «СПМ-02» забезпечує виявлення фактів фальсифікації молока. У випадку виявлення факту фальсифікації «СПМ-02» візуалізує відповідний сигнал на індикаторі. Інформація про кількість сформованих порцій передається до ЗВКМ з використанням гальванічно ізольованої лінії зв'язку.



Рисунок 5.12 – Зовнішній вигляд ЛПМ «СПМ-02»

Розроблений та впроваджений у виробництво ЗВКМ «Підсумовуючий лічильник «ЦНС-2» призначений для вимірювання загального удою, отриманого на доїльних установках типу «Ялинка», «Паралель», «Карусель», «Тандем», при використанні БЗПД «ІД-02», «БД-05», «БД-06», «БД-07» та на стійлових доїльних установках при використанні БУДМ «БУДМ-01» та ЛПМ «СПМ-02». Зовнішній вигляд «ЦНС-2» показаний на рис. 5.13.

«ЦНС-2» забезпечує вимірювання отриманого на доїльній установці удою не тільки після закінчення доїння, а і протягом доїння. БЗПД «ІД-02», «БД-05», «БД-06» та «БД-07», при збільшенні поточного удою тварини на 0,1 кг, формують імпульс певної тривалості, який через гальванічно ізольовану лінію передається до «ЦНС-2», усі БЗПД до лінії передачі даних під'єднуються паралельно, полярність під'єднання значення не має. «ЦНС-2» здійснює підрахунок цих імпульсів. На основі результатів підрахунку визначається загальний удій установки, значення якого візуалізується за допомогою чотирирозрядного індикатора. «БУДМ-01» та «СПМ-02» працюють аналогічно, тільки у цьому випадку імпульс передається при формуванні дозатором порції молока, об'єм якої може бути різним (як правило, один літр). Відповідно, при використанні «ІД-02», «БД-05», «БД-06» та «БД-07» загальний удій установки вимірюється у кілограмах, при використанні «БУДМ-01» та «СПМ-02» удій установки вимірюється у кількості порцій. У «ЦНС-2» передбачена можливість встановлення режиму роботи в залежності від типу установки. Результати вимірювання загального удою зберігаються при зникненні напруги живлення. Діапазон вимірювання загального удою при використанні «ЦНС-2» складає від 0 до 9999 кг або порцій з дискретністю 1 кг або одна порція, зведена похибка вимірювання загального удою не перевищує 5 %.



Рисунок 5.13 – Зовнішній вигляд ЗВКМ «ЦНС-2»

5.2 Програмне забезпечення для сервера ІВС ПБТСД

Розроблене та впроваджене на багатьох тваринницьких підприємствах програмне забезпечення «АСУ-ФЕРМА-2» призначене для автоматизації управління молочним стадом та забезпечення функціонування різних варіантів ІВС ПБТСД. Програмне забезпечення «АСУ-ФЕРМА-2» створено на мові програмування РНР четвертої версії та може функціонувати на платформах Windows XP, Windows 7, Windows 8, Windows 10, Linux Mandriva 2010.1, Ubuntu 11.04, Ubuntu 12.04. «АСУ-ФЕРМА-2» інсталується на автономному сервері ІВС ПБТСД, робота з програмним забезпеченням здійснюється виключно з локальних або віддалених робочих станцій за допомогою веб-браузерів Mozilla Firefox, Google Chrome, або Internet Explorer. Лока-

льні робочі станції з'єднуються з сервером ІВС ПБТСД через комп'ютерну мережу, віддалені робочі станції з'єднуються з сервером ІВС ПБТСД через мережу Internet, у цьому випадку сервер повинен мати статичну IP-адресу.

На рис. 5.14 наведено узагальнену структурну схему програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2», яке складається з шести основних програмних модулів: модуля ручного введення інформації, модуля взаємодії з обладнанням, модуля налаштувань та конфігурації, модуля обробки інформації, модуля формування звітів, модуля взаємодії з стороннім програмним забезпеченням.

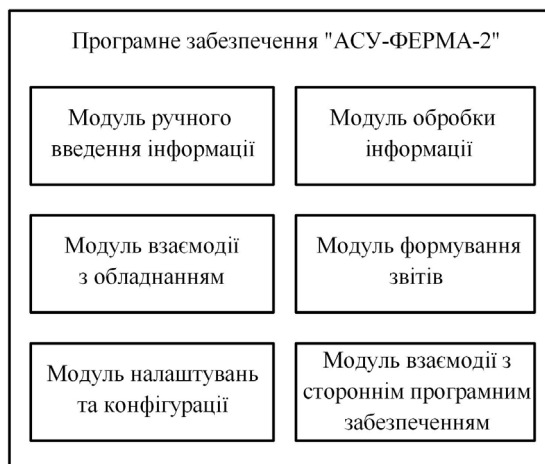


Рисунок 5.14 – Узагальнена структурна схема програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2»

За допомогою програмного модуля ручного введення інформації оператор здійснює занесення до бази даних такої інформації про тварину: стадний номер, номер стада, номер тварини у національній базі даних, результати контрольних доїнь, результати вимірювання температури тіла та ваги, інформацію про батьків тварини, номер групи, у якій знаходиться тварина, номер транспондера, породи, параметри екстер'єру та його вади, кличку, дату народження, дати отелів, дати ветеринарних досліджень та їх результати, дати та параметри штучних запліднень та абортів, інформацію про лікування та неможливість доїння, інформацію про необхідність розколу, коментарі та іншу індивідуальну інформацію. Окрім цього, вручну вводиться певна інформація, яка необхідна для управління стадом або групою тварин. До такої інформації відноситься день першого запліднення, день першого отелювання, кількість днів між заплідненням та запуском, кількість днів між заплідненням та пізнім запуском, кількість днів між заплідненням та отелюванням, кількість днів між отелюванням та заплідненням, кількість днів між абортотом та заплідненням, кількість днів між ректальним дослідженням, що має негативні результати, та заплідненням, кількість днів між заплідненням та початком підготовки до запуску. Також забезпечується запис у відповідну базу даних інформації про державу, область, район, населений пункт, поштову адресу, назву ферми, назву юридичної особи,

особисті та контактні дані директора, головного зоотехніка, осіб, які відповідають за експлуатацію системи, робочу мову, ідентифікатори операторів, що мають дозвіл на роботу у системі, деякі інші параметри.

За допомогою модуля взаємодії з обладнанням, інформація про ПБТСД, яка отримана за допомогою відповідних складових елементів системи, записується в базу даних в автоматичному режимі. Окрім того, за допомогою цього модуля забезпечується передача службових даних від сервера системи до її складових елементів з метою забезпечення певних налаштувань, встановлення необхідних режимів роботи та управління, відображення необхідної інформації. Інформація, обмін якою здійснюється при використанні цього модуля, залежить від структури доїльної установки, способу утримання тварин, технічних можливостей та характеристик обладнання, яке використовується на тваринницькій фермі. У розроблених та впроваджених у виробництво ІВС ПБТСД при безприв'язному утриманні тварин, цей модуль, у програмній взаємодії з «ІБ-04», забезпечує можливість отримання інформації від встановлених на доїльній установці БЗПД про кількість повторних під'єднань доїльних стаканів, наявність випадку холостих доїнь, тривалість холостого доїння, кількість відпадань доїльного апарата, тривалість доїння, час припуску, разовий удій протягом одного доїння, удій у перші три тридцятисекундні інтервали з початку доїння, код транспондера, наявність маститу або його ступінь у чвертях вимені, наявність травмованості тварини, наявність у тварини стану «охоти», мережевий номер, електропровідність молока. До БЗПД, за допомогою цього програмного модуля, забезпечується передача інформації про стадний номер тварини, заборону доїння тварини та інформації про низький удій. У розроблених та впроваджених у виробництво ІВС ПБТСД при прив'язному утриманні тварин, вищевказаний модуль, у програмній взаємодії з «ІБ-04», забезпечує отримання інформації про номер лінії стійлової доїльної установки, загальний удій групи тварин у лінії, наявність води в молоці у кожній лінії, середню електропровідність молока у лінії. При взаємодії з «БУСВ-01», цей модуль забезпечує отримання коду транспондера тварини та передачу даних про необхідність розколу. При взаємодії з «БЦР-01» за допомогою цього модуля здійснюється отримання коду транспондера тварини та кількості тварин у потоці. При застосуванні «КОМФОРТ-01» забезпечується отримання коду транспондера тварини та інформації про тривалість її користування чесальною установкою. За допомогою мнемосхеми, приклад якої наведено на рис. 5.15, цей модуль забезпечує візуалізацію процесу взаємодії сервера системи з обладнанням ІВС ПБТСД у режимі реального часу.

220 В: Ok		Транзакція:0							Апарат:24	
БД	Фаза та час	№ тварини, RFID та прив'язь	Надій та трив.	Руч. пуск	Повт. пуск	Руч. стоп	Мастит	Травня, Овул.		
1	проникла								не бачу 2011-05-18 07:00:31	+
2	проникла	4204, 9021231124, Пальма	4.9 05:46						звіт 2011-05-18 07:00:31	
3	проникла								не бачу 2011-05-18 07:00:31	
4	проникла								не бачу 2011-05-18 07:00:31	
5	проникла	4301, 1409812636, Лагіана	8.5 07:27						звіт 2011-05-18 07:00:31	
6	проникла	4677, 11062194139, Дуса	8.1 05:16						не бачу 2011-05-18 07:00:31	
7	проникла	4283, 140177575, Янайка	11.1 06:04						звіт 2011-05-18 07:00:31	
8	проникла	3467, 14098108155, Іпанка	9.9 05:53						не бачу 2011-05-18 07:00:31	
вранці:			0							
вдень:			7.4							
ввечері:			0							
за добу:			7.4							

Рисунок 5.15 – Візуалізація процесу взаємодії сервера з обладнанням у режимі реального часу за допомогою мнемосхеми

ється відповідно до типу доїльної установки та способу утримання, кількості робочих траншей групової установки, загальної кількості каналів обміну даними, кількості каналів обміну даними для роботи з обладнанням у кожній траншеї, типу БЗПД, загальної кількості БЗПД, кількості БЗПД в одній траншеї, розподілу мережевих номерів БЗПД та іншого обладнання, кількості робочих траншей, що обслуговуються одним доярем, кількості доярів, кількості селекційних воріт та чесальних установок, часу початку доїнь та їх кількості. Також за допомогою цього модуля встановлюється тип та номер порту для обміну даними з сервером, часовий інтервал між опитуваннями функціональних вузлів системи, швидкість обміну даними.

Модуль обробки інформації забезпечує розрахунок днів до отелювання, ректальних досліджень, кількості днів до наступного осіменіння кожної тварини, кількості днів до запуску кожної тварини, проведення інтерполяції та апроксимації результатів вимірювання ПБТСД, побудову залежностей ПБТСД від дня лактації, в тому числі лактаційних кривих, здійснення вимірювального контролю ПБТСД, аналіз отриманих результатів вимірювання з метою оцінки стану тварин та БТСД в цілому, встановлення тварин, у яких виявлено підозру на певні захворювання, прогнозування стану тварин.

За допомогою модуля формування звітів здійснюється автоматичне створення комплексу звітів, структура яких визначається оператором ІВС ПБТСД. Можуть формуватися звіти за окремими тваринами, за тваринами з негативною динамікою зміни зоотехнічних параметрів, за тваринами з підозрами на захворювання, звіти з результатами вимірювального контролю ПБТСД. Також можливе формування звітів з практично будь-якою конфігурацією даних за стадом, групою тварин, фермами, робочим траншеями, часовими проміжками.

Модуль налаштувань та конфігурації забезпечує налаштування програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2» для функціонування з різними типами доїльних установок та різними варіантами структур ІВС ПБТСД. За допомогою цього модуля програмне забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2» налаштовує

Модуль взаємодії з стороннім програмним забезпеченням здійснює експорт отриманих в результаті функціонування ІВС ПБТСД даних до електронних таблиць, програмного забезпечення «1С», та популярного програмного комплексу «Uniform Agri».

5.3 Практична реалізація варіантів ІВС ПБТСД

Під час проведених досліджень було розроблено та впроваджено у виробництво декілька варіантів ІВС ПБТСД для групових та стійлових доїльних установок [2, 3]. В усіх розроблених варіантах систем використано технічні засоби, які розглянуто у підрозділі 5.1, та програмне забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2», яке розглянуто у попередньому підрозділі.

На рис. 5.16 наведено структурну схему ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «ІД–02» для типових групових доїльних установок або доїльних установок з прохідними станками з структурою 2×8. Кількість БЗПД «ІД–02» дорівнює кількості доїльних станків, які знаходяться на установці і які обладнані доїльними апаратами без функції керування процесом доїння. У наведеному варіанті системи може бути використано не більше тридцяти двох БЗПД «ІД–02». За допомогою наведеного варіанту системи можливе вимірювання індивідуального удою тварин без їх ідентифікації, вимірювання загального удою стада, вимірювання та автоматичний контроль миттєвої інтенсивності молоковіддачі.

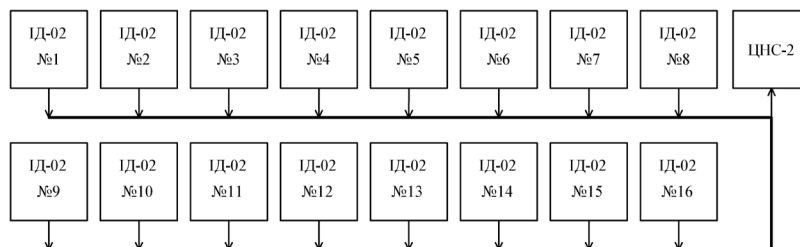


Рисунок 5.16 – Структурна схема ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «ІД–02» для типових групових доїльних установок з структурою 2×8 або доїльних установок з прохідними станками

Якщо доїльна установка обладнана доїльними апаратами з функцією керування процесом доїння, то у наведеній ІВС ПБТСД використовуються БЗПД «БД–07».

На рис. 5.17 наведено структурну схему розробленої та впровадженої у виробництво ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «БД–06» або «БД–05» та автоматизованою ідентифікацією тварин для типових групових доїльних установок або доїльних установок з прохідними станками з структурою 2×8.

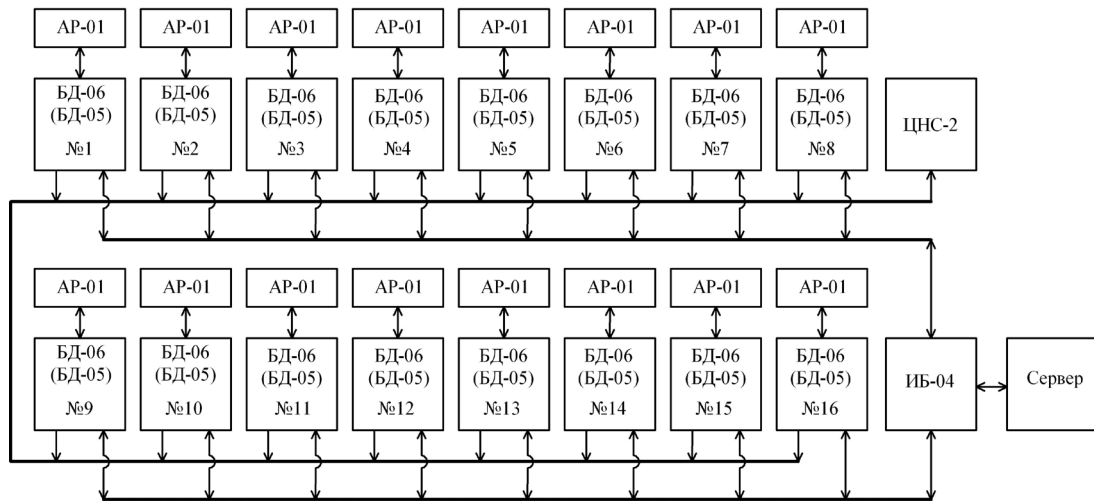


Рисунок 5.17 – Структурна схема ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «БД–06» або «БД–05» та автоматизованою ідентифікацією тварин для типових групових доїльних установок з структурою 2×8 або доїльних установок з прохідними станками

У цій ІВС ПБТСД кількість БЗПД «БД–06» або «БД–05» дорівнює кількості доїльних станків, які знаходяться на установці, може бути використано не більше шістнадцяти БЗПД у кожному каналі БЗОД «ІБ–04». У наведеній структурі, для обслуговування кожної сторони доїльної установки, використовується окремий канал «ІБ–04». Автоматизована ідентифікація тварин забезпечується за допомогою ЗТ «АР–01», якими обладнаний кожний БЗПД. За допомогою наведеного варіанта ІВС ПБТСД забезпечується вимірювання разового удою тварини, тривалості доїння, розподілу удою за першими трьома тридцятисекундними інтервалами з початку доїння, електропровідності молока, кількості відпадань доїльних стаканів, кількості випадків та тривалості холостого доїння, забезпечується ручне введення інформації про наявність маститу або його ступінь у чвертях вимені, наявності травмованості тварини, наявності у тварини стану «охоти». Також у системі здійснюється автоматичний контроль часу припуску та миттєвої інтенсивності молоковіддачі. На основі даних, отриманих від БЗПД, за допомогою програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2» здійснюється вимірювальний контроль тривалості роботи доїльної установки, тривалості доїння окремих тварин, інтенсивності їх молоковіддачі, інтенсивності їх молоковіддачі в перші тридцять секунд після початку доїння, інтенсивності молоковіддачі на часовому проміжку від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння, інтенсивності молоковіддачі на часовому проміжку від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння, разового удою протягом одного доїння, добового удою, удою за період лактації, електропровідності молока у відповідності з

днем лактації. Також за допомогою програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2», на основі даних, введених вручну, здійснюється контроль температури тіла тварини та її ваги, аналіз результатів ветеринарних та інших досліджень, що відображається у відповідних звітах. Окрім цього здійснюється оцінка стану БТСД на основі результатів вимірювального контролю її параметрів.

На рис. 5.18 наведено структурну схему розробленої та впровадженої у виробництво ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «БД–06» та автоматичною ідентифікацією тварин для типових групових доїльних установок або доїльних установок з прохідними станками з структурою 2×8. Автоматична ідентифікація тварин у цій системі здійснюється з використанням ЗТ типу PNL–2530, PNL–4060–3 або PNL–60120, та транспондерів формату HDX. Ідентифікація відбувається на проході до доїльних станків під час руху тварин з використанням «БЦР–01», на чесальній установці за допомогою «КОМФОРТ–01», на проході до селекційних воріт за допомогою «БУСВ–01».

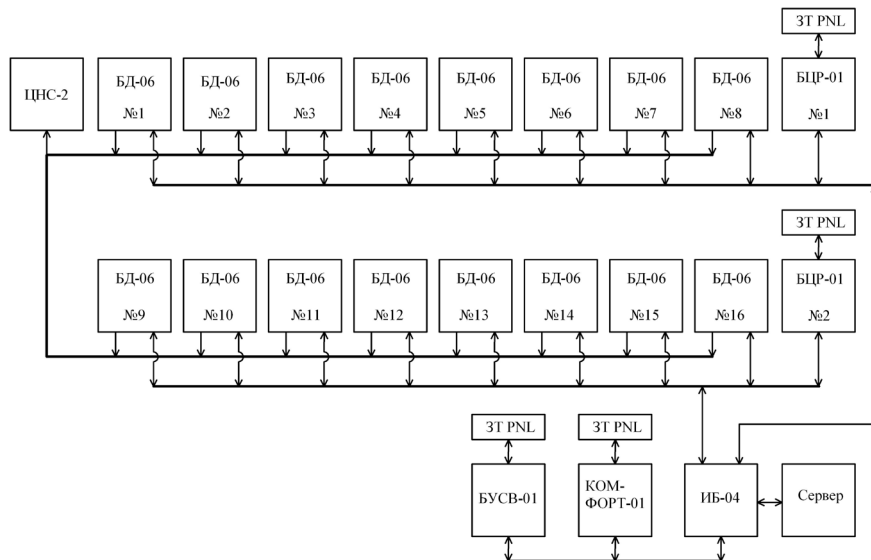


Рисунок 5.18 – Структурна схема ІВС ПБТСД з використанням БЗПД «БД–06» та автоматичною ідентифікацією тварин для типових групових доїльних установок з структурою 2×8 або доїльних установок з прохідними станками

Відповідно, у наведеній ІВС ПБТСД, на відміну від попередньо розглянутої, відбувається підрахунок тварин у потоці та ідентифікація їх проходження. Для обслуговування кожної сторони доїльної установки та приладів «БУСВ–01» і «КОМФОРТ–01» використовуються окремі канали «ІБ–04». В усьому іншому, характеристики розглянутої системи збігаються з характеристиками ІВС ПБТСД, що була розглянута раніше.

На рис. 5.19 наведено структурну схему ІВС ПБТСД з використанням ЛПМ «СПМ–02» для типової стійлової доїльної установки.

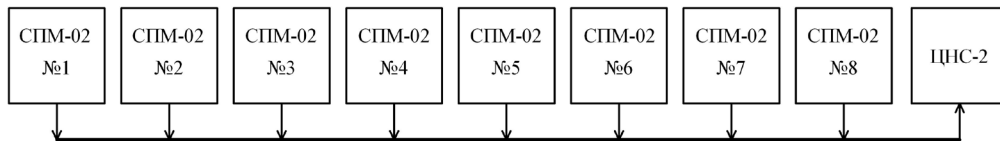


Рисунок 5.19 – Структурна схема ІВС ПБТСД з використанням ЛПМ «СПМ–02» для типової стійлової доїльної установки

Кількість ЛПМ «СПМ–02», що використовуються у системі, дорівнює кількості доїльних ліній. У відповідності з типовим проектом стійлової доїльної установки з молокопроводом, їх може бути чотири або вісім. За допомогою наведеного варіанта системи можливе вимірювання загального удою стада, вимірювання удою у кожній лінії, контроль наявності води у молоці в кожній лінії.

На рис. 5.20 наведено структурну схему ІВС ПБТСД з використанням БУДМ «БУДМ–01» для типової стійлової доїльної установки.

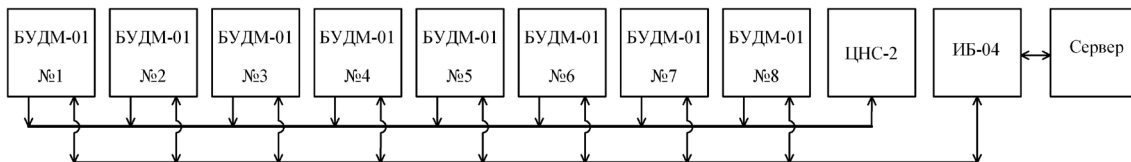


Рисунок 5.20 – Структурна схема ІВС ПБТСД з використанням БУДМ «БУДМ–01» для типової стійлової доїльної установки

Аналогічно попередньо розглянутій системі, може використовуватися чотири або вісім «БУДМ–01». За допомогою цієї системи забезпечується вимірювання загального удою стада, вимірювання удою у кожній лінії, контроль наявності води у молоці у кожній лінії. Функціонування системи забезпечується за допомогою програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2», при його використанні здійснюється вимірювальний контроль тривалості роботи доїльної установки, середнього удою тварини за доїння у групі або стаді, середнього удою тварини у групі або стаді за добу, середнього удою тварини у групі або стаді за період лактації. Також, за допомогою програмного забезпечення «АСУ–ФЕРМА–2», на основі даних, введених вручну, здійснюється контроль температури тіла тварини та її ваги, аналіз результатів ветеринарних досліджень, контроль індивідуального удою на основі результатів контрольних доїнь, забезпечується обробка інформації про планові перевірки на мастит, стан «охоти», травмованість тварин. У наведеній ІВС ПБТСД «ЦНС–2» працює в автономному режимі та призначений для оперативного спостереження за динамікою процесу доїння, його наявність не обов'язкова. Можливе також функціонування цієї ІВС ПБТСД без «ІБ–04» та сервера. У цьому випадку система працює аналогічно попередньо розглянутій.

5.4 Висновки

1. У процесі проведення досліджень, були розроблені та впроваджені у промислове виробництво у якості складових елементів доїльного обладнання виробництва ТДВ "Брацлав", Україна, та СООО «Экомилк», Білорусь, такі прилади: БЗПД «ІД-02», БЗПД «БД-05», ЗТ малого радіуса дії «АР-01», БЗПД «БД-06», «БЦР-01», БЗПД «БД-07», БКСВ «БУСВ-01», БКЧУ «КОМФОРТ-01», БУДМ «БУДМ-01», БЗОД «ІБ-04», ЛПМ «СПМ-02», ЗВКМ «ЦНС-2».

2. Усі розроблені та впроваджені у виробництво прилади можуть входити до складу ІВС ПБТСД. Прилади БУДМ «БУДМ-01» та ЛПМ «СПМ-02» призначені для використання на стійлових доїльних установках з молокопроводом, можливе їх функціонування як в автономному режимі, так і у складі ІВС ПБТСД. Прилади БЗПД «ІД-02», БЗПД «БД-05», БЗПД «БД-06», БЗПД «БД-07», БКЧУ «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 ІВС ПБТСД. Прилади «БЦР-01», ЗТ малого радіуса дії «АР-01», БКСВ «БУСВ-01», БЗОД «ІБ-04», ЗВКМ «ЦНС-2», можуть функціонувати виключно у складі ІВС ПБТСД.

3. Для забезпечення функціонування ІВС ПБТСД, в процесі проведення досліджень було 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 ПБТСД, проведення операцій контролю необхідних параметрів, оцінка та прогнозування стану тварин, формування необхідних звітів.

4. В процесі досліджень було розроблено та впроваджено у виробництво декілька варіантів ІВС ПБТСД для доїльно-молочних відділень тваринницьких 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 ІВС ПБТСД на основі ЛПМ «СПМ-02», БУДМ «БУДМ-01», ЗВКМ «ЦНС-2», БЗОД «ІБ-04». Для ферм з безприв'язним утриманням, які обладнані груповими доїльними установками та установками з прохідними станками, реалізовано та впроваджено такі ІВС ПБТСД: ІВС ПБТСД без ідентифікації тварин на основі БЗПД «ІД-02», БЗПД «БД-07», та ЗВКМ «ЦНС-2»; ІВС ПБТСД з автоматизованою ідентифікацією тварин на основі БЗПД «БД-05», БЗПД «БД-06», ЗТ малого радіуса дії «АР-01», БЗОД «ІБ-04», та ЗВКМ «ЦНС-2»; ІВС ПБТСД з автоматичною ідентифікацією тварин на основі БЗПД «БД-06», приладу «БЦР-01», ЗТ типу PNL-2530, PNL-4060-3 або PNL-60120, ЗВКМ «ЦНС-2», БЗОД «ІБ-04», БКСВ «БУСВ-01», БКЧУ «КОМФОРТ-01».

ЛІТЕРАТУРА

1. Луценко М. М. Розробка зоотехнологічних основ функціонування біотехнічних систем доїння і напрямків їх удосконалення : дис. ... докт. с.-г. наук / М. М. Луценко. – Український Державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва. – Дослідницьке, 1993. – 299 с.
2. Технологии и оборудование для животноводства ВАТ «Брацлав» / Рекламний проспект. – 2010. – 27 с.
3. ПАТ «Брацлав» / ПАТ «Брацлав». – Режим доступу : <http://bratslav.com>.
4. DeLaval / Tetra Laval Group. – Режим доступу : www.delaval.com.
5. DeLaval. Системы доения для развития ферм. Увеличивая производительность. Рекламный проспект. / Tetra Laval Group. – 2014. – 23 с.
6. GEA Group / GEA Westfalia Separator Group – Режим доступу : www.westfalia-separator.com.
7. GEA Group / GEA Farm Technologies – Режим доступу : www.gea-farmtechnologies.com.
8. Система управления DairyManagementSystem 21. Информационный помощник с новой системой управления воспроизводством. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 15 с.
9. Продукты и системы для производства молока с повышенной эффективностью. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 27 с.
10. GEA Group / WestfaliaSurge – Режим доступу : www.westfalia.com.
11. Dairyplan C21. Успішне управління стадом в ХХІ столітті. Рекламний проспект. / GEA Group. – 2013. – 15 с.
12. Impulsa AG / Impulsa AG. – Режим доступу : www.impulsa-ag.de.
13. Afimilk / Afimilk – Режим доступу : www.afimilk.com.
14. S.A.E. Afikim. Компьютеризованные системы управления молочной фермой. Рекламный проспект. / Afimilk. – 2013. – 6 с.
15. S.C.R. / S.C.R. – Режим доступу : www.scrdairy.com.
16. S.C.R. Precise dairy farming. Рекламный проспект. / S.C.R. – 2014. – 30 с.
17. Фемакс. Каталог оборудования для молочных ферм. Рекламный проспект. / Фемакс. – 2010. – 27 с.
18. НПП «Фемакс» / НПП «Фемакс» – Режим доступу : <http://viesh.ru/oborudovanie-dlya-molochnih-ferm/>

19. Boumatic / Boumatic – Режим доступу : www.boumatic.com.
20. Boumatic. Системы Xpressway Parallel Stall Systems. Когда вы используете лучшее. Рекламный проспект. / Boumatic. – 2012. – 6 с.
21. Boumatic. SmartDairy. Технология для получения качественного молока. Рекламный проспект. / Boumatic. – 2013. – 12 с.
22. Panazoo / Panazoo Italiana Srl. – Режим доступу : www.panazoo.it.
23. Panazoo. Products Guide 2014 Automation in Milking Systems. Рекламный проспект. / Panazoo Italiana Srl. – 2014. – 102 с.
24. Sac / Aktieselskabet S. A. Christensen & Co – Режим доступу : www.sacmilking.com.
25. Lely / Lely Holding S.a.r.l. – Режим доступу : www.lely.com.
26. 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.
27. 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.
28. Цой Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
29. Automatic Milking Systems, Farm Size, and Milk Production / С. А. Rotz, С. U. Coiner, К. J. Soder // Journal of Dairy Science.– 2003. – V. 86, № 12. – P. 1605–1614.
30. De Koning С. J. А. М. Automatic milking: State of the art in Europe and North America / С. J. А. М. de Koning, J. Rodenburg, А. Meijering, Н. Hogeveen // A Better Understanding of Automatic Milking. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. – 2004. – P. 27 – 35.
31. Каталог продуктов и услуг ДеЛаваль / 2011. – 372 с.
32. Тёпел, А. Химия и физика молока / А. Тёпел. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 623 с.
33. Цой Ю. А. Анализ и синтез транспортеров непрерывного действия / Ю. А. Цой, А. А. Мансуров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – №4. – С. 29–32.
34. Мжельский Н. И. Вакуумные насосы для доильных установок / Н. И. Мжельский. – М. : Машиностроение, 1974. – 152 с.

35. Больше мощности. Больше чистоты. Больше возможностей. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 35 с.
36. Индивидуальные решения для Вашего растущего успеха. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 59 с.
37. Куликов Л. В. Физиологические основы доения коров / Л. В. Куликов. – М. : Россельхозиздат, 1969. – 80 с.
38. Велиток И. Г. Технология машинного доения / И. Г. Велиток. – М. : Колос, 1975. – 256 с.
39. Краснов И. Н. Доильные аппараты / И. Н. Краснов. – Ростов : Ростовский университет, 1974. – 228 с.
40. Луценко М. М. Перспективні технології виробництва молока : монографія / М. М. Луценко, В. В. Іванишин, В. І. Смоляр . – К. : Видавничий центр «Академія», 2006. – 192 с.
41. Уиттлстоун В. Г. Принципы машинного доения / В. Г. Уиттлстоун. – М. : Колос, 1964. – 196 с.
42. BS ISO 5707:2007. Milking machine installations. Construction and performance. – 30 March 2007. – BSI. – 60 p.
43. Тверской Г. Б. Регуляция секреции молока / Г. Б. Тверской. – Л. : Наука, 1972. – 356 с.
44. Датчик інтенсивності молоковіддачі переносного доїльного апарата для стійлового молокопроводу / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, Є. А. Паламарчук, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 3. – С. 44–48.
45. Вальдман Э. К. Физиология машинного доения коров / Э. К. Вальдман. – М. : Колос, 1977. – 192 с.
46. Грачев И. И. Физиология лактации сельскохозяйственных животных / И. И. Грачев, В. П. Ланцев – М. : Колос, 1974. – 280 с.
47. Админ Е. И. Технология производства молока на промышленной основе / Е. И. Админ, Е. Н. Зюнкина, Б. А. Корсун – К. : Урожай, 1983. – 160 с.
48. DeLaval. Каталог сопутствующих товаров. Рекламный проспект. / Tetra Laval Group. – 2014. – 51 с.
49. Городецкая Т. К. О стрессовых факторах на молочных комплексах промышленного типа / Т. К. Городецкая // Поведение животных в условиях промышленных комплексов – М. : Колос, 1979. – С. 77–83.
50. Голиков А. Н. Новое в физиологии и нервной системе сельскохозяйственных животных / А. Н. Голиков, Е. И. Любимов – М. : Колос, 1977. – 110 с.

51. Пешук Л. В. Проблема маститу в стадах великої рогатої худоби молочного напрямку / Л. В. Пешук // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 9. – С. 32–35.
52. Голобоких П. И. Изменение электропроводности молока коров в течение лактации : автореф. дис... канд. техн. наук : / П. И. Голобоких ; Всесоюзный научно-исследовательский институт племенного дела. – М., 1991. – 23 с.
53. Дмитриев Н. Г. Производство молока : справочник / Н. Г. Дмитриев, В. И. Мосийко, С. С. Брага. – М. : Агропромиздат, 1985. – 240 с.
54. Electrical Conductivity of Milk: Measurement, Modifiers, and Meta Analysis of Mastitis Detection Performance / M. Nielen, H. Deluyker, Y. H. Schukken, A. Brand // Journal of Dairy Science. – 1992. – V. 75, № 2. – P. 606–614.
55. Brandt M. Invited review: Technical solutions for analysis of milk constituents and abnormal milk / M. Brandt , A. Haeussermann, E. Hartung // Journal of Dairy Science. – 2010. – V. 93, № 2. – P. 427–436.
56. Метатрон 21. Нове покоління. Високотехнологічний стрибок в доїльній техніці. Рекламний проспект. / GEA Group. – 2013. – 7 с.
57. Invited review: A novel method of analyzing daily milk production and electrical conductivity to predict disease onset / J. M. Lukas, J. K. Reneau, R. Wallace [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2009. – V. 92, № 12. – P. 5964–5976.
58. Variation in Somatic Cell Count, California Mastitis Test, and Electrical Conductivity Among Various Fractions of Ewe's Milk / C. Peris, P. Molina, N. Fernandez [et al.] // Journal of Dairy Science. – 1991. – V. 74, № 5. – P. 1553–1560.
59. A model for detection of individual cow mastitis based on an indicator measured in milk / M. G. Chagunda, N. C. Friggens, M. D. Rasmussen, T. Larsen. // Journal of Dairy Science. – 2006. – V. 89, – P. 2980–2998.
60. Hamann J. Diagnosis of mastitis and indicators of milk quality / J. Hamann, Krömker V. // Mastitis in Dairy Production: Current Knowledge and Future Solutions. – Wageningen Academic Publishers, Wageningen : 2005. – P. 82–91.
61. Detection and separation of abnormal milk in automatic milking systems / M. D. Rasmussen, A. Meijering, H. Hogeveen, C. J. A. M. de Koning // Automatic Milking – A Better Understanding. Wageningen Academic Publishers, Wageningen : 2004. – P. 189–197.

62. Войтюк В. В. Вимірювання витрати молока в молочній лінії доїльного апарата : автореф. дис.// канд. техн. наук : / В. В. Войтюк ; Національний університет «Львівська політехніка». – Л., 2011. – 21 с.
63. Oshima M. Detection of abnormal quarter milk by the quarter difference of the electrical conductivity and its theoretical basis / M. Oshima // JARQ. – 1977. – № 11. – P. 239.
64. Oshima M. Empirical formula for correcting electrical conductivity values of milk in relation to temperature / M. Oshima // Jpn. J. Zootech. Sci. – 1978. – № 49. – P. 180.
65. Lovendah P. On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows / P. Lovendah, M. G. G. Chagunda // Journal of Dairy Science. – 2010. – V. 93. – № 1. – P. 249–259 .
66. Лотоцький В. В. Ефективність методу визначення стадії збудження статевого циклу корів за індексами активності руху / В. В. Лотоцький // Науковий вісник ветеринарної медицини. – 2013. – Вип. 11. С. 101–103.
67. Saumande J. Faut – Il reconsiderer le moment souhaitable de l'insemination au cours de l'estrus chez les bovins. Une revue des donnes de la literature / J. Saumande // Revue Med. Vet. – 2001. – V. 152. – № 11. – P. 755–764.
68. Sturman H. Importance of inseminating only cows in estrus. / H. Sturman, E. A. Oltenacu, R. H. Foote // Theriogenology. – 2000. – № 53. – P. 1657–1667.
69. Рекомендації з профілактики неплідності худоби / Г. В. Зверева, В. А. Яблонський, М. В. Косенко [та ін.]. – Львів, 2001. – 18 с.
70. At-Taras E. E. Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag / E.E. At-Taras, S.L. Spahr // J. Dairy Sci. – 2001. – №84(4). – P. 792–798.
71. Lewis G.S. Changes throughout estrous cycles of variables that might indicate estrus in dairy cows / G.S. Lewis, S.K. Newman // J. Dairy Sci. – 1984. – № 67(1). – P. 146–152.
72. Maatje K. Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers / K. Maatje, S.H. Loeffler, B. Engel // J. Dairy Sci. – 1997. – № 80. – P. 1098–1105.
73. Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle / R. Nebel, M. Dransfield, S. Jobst [et al.] // Anim. Reprod. Sci. – 2000. – № 2. – P. 60–61.

74. Филоненко А. И. Выбор времени осеменения коров и телок / А. И. Филоненко, Г. П. Дюльгер, В. В. Храмцов. – М. : Издательство МСХА, 1993. – 18 с.

75. Костенко В. І. Характер жуйки і рівень молочної продуктивності корів / В. І. Костенко, Ю. Ю. Баняс // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. – 2012. –Вип. 179. С. 18–23.

76. Моніторинг румінації – практичне застосування. Рекламний проспект. / S. C. R. – Режим доступу : <http://www.scrdairy.com/UsingMonitoring.asp>.

77. Огляд технології. Рекламний проспект. / Israeli Technological Incubator Program – Режим доступу : <http://www.vocaltag.com/technology.html>.

78. Christensen D. A. Eating and Feeding Behavior of Dairy Cows: Dietary Influences and Impact on Production / D. A. Christensen, M. Fehr ; Department of Animal and Poultry Science, University of Saskatchewan, 72 Campus Drive. – Saskatoon Canada. – 2009. – 11 p.

79. Dodo R. G. Nutrition, Feeding and Calves / R. G. Dodo, M. S. Allen ; Department of Animal Science Michigan State University East Lansing. – Michigan, 1994. – 13 p.

80. Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage–neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production / G. Adin, R. Solomon, M. Nikbachat [et al.] // American Dairy Science Association. – 2009. – 10 p.

81. Lindgren E. Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets / E. Lindgren // Swedish University of Agricultural Sciences. – 2009. – 40 p.

82. Validation of a System for Monitoring Rumination in Dairy Cows / K. Schirmann, M.A.G. von Keyserlingk, D. M. Veira [et al.] // Freie University Berlin. – 2009. – 15 p.

83. Каталог продукции Afimilk / 2012. – 65 с.

84. Jacobs J.A. The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare / J. A. Jacobs, J. M. Siegford // Journal of Dairy Science.– 2012.– V. 95, № 5. – P. 2227–2247.

85. A new dairy control and management system in the automatic milking farm: basic concepts and components / S. Devir, J. A. Renkema, R. B. Huirne, A. H. Ipema // Journal of Dairy Science.– 1993. –V. 76, № 11. – P. 3607–3616.

86. 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.

87. 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.

88. 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.

89. International Committee for Animal Recording (ICAR) / ICAR. – Режим доступу : www.icar.org.

90. ISO 11784/85. Radio frequency identification of animals / International Standard Organization. – Режим доступу : <http://www.iso.org>.

91. 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.

92. Кулаков П. І. Класифікація систем ідентифікації тварин для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм / П. І. Кулаков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП–14–2015). – Одеса, 2015. – С. 134.

93. 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.

94. Allflex / Allflex USA Inc. – Режим доступу : <http://www.allflexusa.com>.

95. RFID Journal / RFID journal LLC. – Режим доступу : <http://www.rfidjournal.com>.

96. Domdouzis K. Radio–frequency identification (RFID) applications: A brief introduction / K. Domdouzis, B. Kumar, C. Anumba // Adv. Engineering Informatics. – 2007. – P. 350–355.

97. Radio Frequency Identification RFID – a basic primer / AIM International, Inc. white paper, 1998. – 56 p.

98. Bryant A.M. Performance of ISO 11785 low-frequency radio frequency identification devices for cattle / A. M. Bryant // M. S. Thesis, Kansas State Univ., Manhattan : 2007.

99. Bryant A. M. Variation in performance of electronic cattle ear tags and readers / A. M. Bryant, D. A. Blasi, B. B. Barnhardt [et al] // Kansas State University, Beef Cattle Research, Report of Progress, 2006. – 978 p.

100. 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.

101. 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.

102. Read rate on two multi-panel RFID reader systems for use in beef cattle / J. Basarab, L. Erickson, J. Kopp [et al]// AAFRD New Initiative Fund, Project Number : 2005007, 2007. – 254 p.

103. 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.

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

105. DeLaval / Система управління фермой DelPro для привязного содержания животных – Режим доступа : <http://www.delaval.ru/Product-Information1/Management/Systems/Dairy-management-DelPro/>.

106. DeLaval / Ручное устройство считывания ННР – Режим доступа : <http://www.delaval.ru/Product-Information1/Management/Systems/DeLaval-hand-held-reader-HNR/>.

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

108. 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.

109. Artmann R. Sensor systems for milking robots / R. Artmann // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 1997. – V. 17, №1. – P. 19–40.
110. Laurs A. Studies of operating parameters in milking robots / A. Laurs, J. Priekulis, M. Puriņš // *Engineering for rural development*. – 2009. – № 3. – P. 38–42
111. Многобоксовая система. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 47 с.
112. Де Монмоллен Н. Системы «человек–машина» / Н. Де Монмоллен. – М. : Мир, 1973. – 256 с.
113. Тесленко И. И. Расчет и технологический анализ этапов организации процессов доения / И. И. Тесленко, И. И. Тесленко // *Вестник Всероссийского научно–исследовательского института механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2012. – № 2 (6). – С. 93–97.
114. DeMax и DemaTron. Универсал и ассистент для доильного зала. Рекламный проспект. / GEA Group. – 2013. – 11 с.
115. Кулаков П. І. Статистичні моделі тривалості машинного доїння / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)*. – Черкаси, 2015. – С. 301–302.
116. Статистичні моделі тривалості машинного доїння / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 1, № 3 (67). – С. 4–7.
117. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.
118. Тареева О. А. Поток животиных на конвейерных доильных установках и модель продолжительности выдаивания / О. А. Тареева // *Вестник Нижегородского государственного инженерно–экономического института*. – 2011. – Т. 2, № 2 (3). – С. 183–193.
119. Factors associated with milking characteristics in dairy cows / D. P. Berry, B. Coughlan, B. Enright [et al] // *Journal of Dairy Science*. – 2013. – V. 96, № 9. – P. 5943–5953.
120. Edwards J. P. Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows / J. P. Edwards, J. G. Jago, N. Lopez–Villalobos // *Journal of Dairy Science*. – 2014. – V. 97, № 1. – P. 259–269.
121. Билибин Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету конвейерных доильных установок молочных ферм промышленного типа / Е. Б. Билибин. – М. : ВИЭСХ, 1977. – 32 с.

122. Викторова И. Н. Расчет некоторых параметров конвейерных доильных установок / И. Н. Викторова, Е. Н. Палецков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. – № 4. – С. 19–21.

123. Билибин Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа / Е. Б. Билибин. – М. : ВИЭСХ, 1978. – 32 с.

124. Уточненный расчет производительности доильных установок / З. И. Гельштейн, А. Я. Вилцанс, А. Р. Лауре, М. Я. Лусис // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 10. – С. 18–23.

125. Мкртумян В. С. Применение теории вероятности для расчета доильных установок / В. С. Мкртумян, Н. А. Петухов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1967. – № 1. – с. 33–36.

126. Крашаков И. С. Производительность доильных установок «Карусель» / И. С. Крашаков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 10. – С. 24–28.

127. Королев В. Ф. Доильные машины / В. Ф. Королев. – М. : Машиностроение, 1969. – 280 с.

128. Закс Л. М. Статистическое оценивание / Л. М. Закс. – М. : Статистика, 1976, 107 с.

129. Хан Г. М. Статистические модели в инженерных задачах / Г. М. Хан, С. В. Шапиро. – М. : Мир, 1969, 396 с.

130. Справочник по теории вероятностей и математической статистике : справочник / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М. : Наука, 1985. – 640 с.

131. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений : произв. изд. / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

132. 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.

133. Кулаков П. І. Статистична модель тривалості машинного доїння на стійловій доїльній установці / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Technical Using of Measurement – 2015. – Славське, 2015. – С. 29–31.

134. Цой Ю. А. Молочные линии животноводческих ферм и комплексов / Ю. А. Цой. – М. : Колос, 1982. – 222 с.

135. Кук Г. А. Процессы и аппараты молочной промышленности / Г. А. Кук. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 768 с.
136. Славин Р. М. Научные основы автоматизации производства в животноводстве и птицеводстве / Р. М. Славин. – М. : Колос, 1974. – 464 с.
137. Мельников С. В. Эксплуатация технологического оборудования животноводческих ферм и комплексов / С. В. Мельников, П. М. Роцин. – М. : Колос, 1980. – 288 с.
138. Карташов Л. П. Машинное доение коров / Л. П. Карташов / – М. : Колос, 1982. – 302 с.
139. Schon H. Automatisches melken (AMS) KTBL – Schriften – Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Minster – Hiltrup / H. Schon, H. Pirkelman. – Darmstadt, 2002.
140. 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. – Т. 4, № 4 (70). – С. 13–17.
141. 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.
142. Кирсанов В. В. Оптимизация управления работой конвейерно–кольцевых доильных установок / В. В. Кирсанов, Р. Ф. Филонов, О. А. Тареева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2 (6). – С. 79–88.
143. Кузин Б. И. Организация поточного производства в условиях научно–технического прогресса машиностроения / Б. И. Кузин – Л. : Машиностроение, 1977. – 184 с.
144. Тареева О. А. Алгоритмизация циклообразной работы конвейерной доильной установки / О. А. Тареева // Вестник Нижегородского государственного инженерно–экономического института. – 2011. – Т. 2, № 6 (7). – С. 132–142.
145. Бабкин В. П. Механизация доения коров и первичной обработки молока / В. П. Бабкин. – М. : Агропромиздат, 1986. – 271 с.
146. Алгоритм мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков [та ін.] // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 1. – С. 265–269.

147. Кучерук В. Ю. Розробка статистичних моделей тривалості доїння на конвеєрних доїльних установках / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Восточно–европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/4 (72). – С. 4–8.

148. Прохоров Ю. В. Теория вероятностей (Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы) / Ю. В. Прохоров, Ю. А. Розанов. – М. : Наука, 1973. – 495 с.

149. Кулаков П. І. Інформаційно-виміррювальна система параметрів доїння для доїльного залу з централізованою ідентифікацією тварин : / П. І. Кулаков, О. В. Андрусь // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІПТК–2015). – К., 2015. – С. 108–109.

150. Contactless Read / Write Transponder Using Low Power EEPROM Techniques / W. Buesser, J. Rudin, N. Nandra [et al] // ESSCIRC 96. – Switzerland, Neuchatel, September 17–19 th, 1996.

151. Finkenzeller K. RFID – Handbuch / K. Finkenzeller. – Munchen. : Hanser Verlag, 1st edition. – 1998.

152. Herter, E. Nachrichtentechnik / E. Herter, W. Lorcher. – Munchen : Hanser Verlag. – 1994.

153. Roz T. Using low power transponders and tags for RFID applications : / T. Roz, V. Fuentes // 6th Wireless Symposium. – USA, Santa Clara, 1998.

154. Кучерук В. Ю. Двоконтурна система радіочастотної ідентифікації тварин / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Виміррювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2 (47). – С. 140–144.

155. Omron Industrial Automation / Omron Corporation. – Режим доступу : <https://www.ia.omron.com/products/family/407/>.

156. Тесленко И. И. Поточно–конвейерные технологии в молочном животноводстве : автореф. дис... докт. техн. наук : / И. И. Тесленко; Всероссийский научно–исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). – М., 2010. – 483 с.

157. Радиотехнические системы : учеб. / под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : – Сов. радио, 1968. – 496 с.

158. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. – М. : Высш. шк., 1983. – 448 с.

159. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. Часть II / И. С. Гоноровский. – М. : Сов. радио, 1967. – 327 с.

160. Фомин А. Ф. Помехоустойчивость систем передачи непрерывных сообщений / А. Ф. Фомин. – М. : Сов. радио, 1975. – 352 с.

161. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике : учеб пособие / Ю. А. Евсиков, Г. В. Обрезков, В. Д. Разевиг [и др.] ; под общ. ред. Г. В. Обрезкова. – М. : Высш. школа., 1985. – 343 с.
162. Pallar LTD Co. & Musson Co. / Корпоративний сайт компаній «Паллар ЛТД» та «Муссон». – Режим доступу : www.pallar.com.ua.
163. Аксененко М. Д. Микроэлектронные фотоприемные устройства / М. Д. Аксененко, М. Л. Бараночников, О. В. Смолин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
164. Кулаков П. І. Математична модель фотоелектричного перетворювача площа–напруга на основі пари фотодіод–операційний підсилювач / П. І. Кулаков // Контроль і управління у складних системах. – Вінниця : ВНТУ, 1999. – Т. № 2. – С. 228–233.
165. Кучерук В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа–напруга / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков [та ін.] // Оптико–електронні інформаційно–енергетичні технології. – 2014. – № 1 (27). – С. 139–145.
166. Васілевський О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів : монографія / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков – Вінниця. : ВНТУ, 2011. – 176 с.
167. Носов Ю. Р. Оптроны и их применение / Ю. Р. Носов, А. С. Сидоров. – М. : Радио и связь, 1981. – 280 с.
168. Васильев А. М. Полупроводниковые фотопреобразователи / А. М. Васильев, А. П. Ландсман. – М. : Сов.радио, 1971. – 248 с.
169. Амброзьяк А. Л. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов. – М. : Сов. радио, 1971. – 128 с.
170. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра / И. Д. Анисимова, И. М. Викулин, Ф. А. Заитов, Ш. Д. Курмашев. – М. : Радио и связь, 1984. – 216 с.
171. Everlight Americas Inc. / Everlight Americas Inc. – Режим доступу : <http://everlightamericas.com>.
172. Infineon Technologies AG / Infineon Technologies AG. – Режим доступу : <https://www.infineon.com>.
173. OPTEK – TT electronics Company / OPTEK – TT electronics Company. – Режим доступу : <http://optekinc.com>.
174. Hamamatsu Photonics / Hamamatsu Photonics. – Режим доступу : <http://www.hamamatsu.com>.

175. AMS–TAOS USA Inc. / AMS–TAOS USA Inc. – Режим доступа : <http://www.taosinc.com>.

176. Texas Instruments Incorporated / Texas Instruments Incorporated. – Режим доступа : <http://www.ti.com/bb>.

177. Справочник по приемникам оптического излучения / В. А. Волков, В. К. Вялов, Л. Г. Гассанов [и др.] ; под общ. ред. Л. З. Криксунова и Л. С. Кременчугского. – К. : Техніка, 1985. – 216 с.

178. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики / В. Е. Кузьмичев. – К. : Наукова думка, 1989. – 864 с.

179. Источники и приемники излучения : учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г. Г. Ишанин, Э. Д. Панков, А. Л. Андреев, Г. В. Польщиков. – СПб. : Политехника, 1991. – 240 с.

180. Калниболотский Ю. М. Проектирование электронных схем / Ю. М. Калниболотский, В. С. Рысин. – К. : Техніка, 1976. – 144 с.

181. Залманзон Л. А. Микропроцессоры и управление потоками жидкости и газа / Л. А. Залманзон. – М. : Наука, 1984. – 320 с.

182. А. с. 276609 СССР, МПК А01J 7/00. Групповой счетчик молока / Дриго В. А., Иевиньш Я. К., Карклиньш Я. Э., Балчунс В. А., Озолиньш Л. Я., Кузнецова И. В., Пилькевич И. С. (СССР). – 1151497/30–15 ; заяв. 03.05.1967 ; опубл. 14.07.1970, Бюл. № 23. – 4 с.

183. А. с. 1158118 СССР, МПК А01J 7/00. Устройство для управления процессом доения / Винников И. К., Дриго В. А., Талинский Р. В., Забродина О. Б. (СССР). – 3644471/30–15 ; заявл. 21.09.1983; опубл. 30.05.1985, Бюл. № 20. – 5 с.

184. А. с. 952170 СССР, МПК А01J 7/00. Измеритель количества молока в процессе доения / Дриго В. А., Карклиньш Я. Э., Баркан А. Ф. (СССР). – 3273619/30–15 ; заявл. 02.04.1981 ; опубл. 23.08.1982, Бюл. № 31. – 4 с.

185. А. с. 792622 СССР, МПК А01J 7/00. Устройство для управления процессом доения / Стенгревитцс О. Я., Галван Б. И., Дриго В. А. (СССР). – 2554525/30–15 ; заявл. 29.09.1969 ; опубл. 15.07.1969, Бюл. № 23. – 4 с.

186. А. с. 906460 СССР, МПК А01J 7/00. Устройство для учета количества молока в процессе доения / Винников И. К., Дриго В. А., Королев В. Ф. (СССР). – 2985000/30–15 ; заявл. 06.08.1980 ; опубл. 23.02.1982, Бюл. № 7. – 6 с.

187. А. с. 982627 СССР, МПК А01J 7/00. Устройство для учета количества молока в процессе доения / Винников И. К., Дриго В. А.,

Королев В. Ф., Бержицкий Ю. И., Золотуский Ю. Л. (СССР). – 3331003/30–15 ; заяв. 17.05.1981 ; опубл. 23.12.1982, Бюл. № 47. – 4 с.

188. Засіб вимірювання рівня молока для переносного доїльного апарата 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.

189. Кулаков П. І. Фотоелектричний перетворювач рівня / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Photonics ODS – 2015. – Вінниця, 2015, с. 125.

190. Кулаков П. І. Засіб вимірювання рівня молока для переносного доїльного апарата стійлової установки / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Одеса, 2013. – С. 131–132.

191. Кулаков П. І. Засіб контролю зоотехнічних параметрів тварин / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Контроль і управління в складних системах. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – с. 193.

192. Патент на корисну модель 97271, Україна, G01M 1/22. Оптичний пристрій для вимірювання кількості молока для переносного доїльного апарата. / 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.

193. Доїльна установка УДМ–200 / Технічний опис і інструкція з експлуатації. – Брацлав, – 2002. –165 с.

194. Кулаков П. І. Датчик проходження порції молока / П. І. Кулаков, А. О. Саркісов // Контроль і управління у складних системах. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – С. 47.

195. Кулаков П. І. Датчик проходження порції молока / П. І. Кулаков, А. О. Саркісов // Контроль і управління у складних системах. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – С. 31–36.

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

197. Кулаков П. І. Математична модель оптичного датчика наявності води у молоці / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Оптико – електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2012. – № 1(23). – С. 121–126.

198. 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.

199. Патент на корисну модель 88826, Україна, А01J 7/00. Пристрій для вимірювання кількості порцій молока та виявлення води в молоці / 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.

200. Патент на корисну модель 92588, Україна, G01M 1/22. Пристрій для підрахунку порцій молока з виявленням вмісту води в молоці / 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.

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

202. Патент на корисну модель 92637, Україна, G01M 1/22. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку / 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.

203. Патент на корисну модель 94015, Україна, G01M 1/22. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку з функцією виявлення води в молоці / 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.

204. Патент на корисну модель 97209, Україна, G01M 1/22. Пристрій для вимірювання кількості молока для переносного доїльного апарата : / 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.

205. Интегральные микросхемы : Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. – М. : ДОДЭКА, 1996. – 384 с.

206. Федорков Б. Г. Микросхемы ЦАП и АЦП : функционирование, параметры, применение / Б. Г. Федорков, В. А. Телец. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

207. Фелпс Р. 750 практических электронных схем: Справочное руководство / Р. Фелпс. – М. : Мир, 1986. – 584 с.

208. Граф Р. Электронные схемы: 1300 примеров / Р. Граф. – М. : Мир, 1989. – 688 с.
209. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества / Б. Б. Дунаев. – К. : Техніка, 1981. – 152 с.
210. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К. : «Вища школа», 1977. – 280 с.
211. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные применения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988. – 480 с.
212. Румшицкий Л. З. Элементы теории вероятностей / Л. З. Румшицкий. – М. : Физматгиз, 1960. – 156 с.
213. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. – К. : Вища шк., 1986. – 504 с.
214. 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.
215. Краснов И. Н. Компьютерная модель расчета продолжительности доения коров на ферме / И. Н. Краснов, Е. В. Назарова // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – № 3 (23). – С. 10–15.
216. EM Microelectronic – Marin SA / EM Microelectronic – Режим доступа: www.emicroelectronic.com.
217. Sokymat / ASSA ABLOY Identification Technologies Group – Режим доступа: www.sokymat.com.
218. Highly Electric / Highly Electric Co., Ltd – Режим доступа: www.highly.com.

Наукове видання

Кулаков Павло Ігорович

**ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЇННЯ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал–макет підготовлено П. Кулаковим

Підписано до друку 10.11.2015 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 12,7.
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-36

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.