

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
механіко – технологічний факультет

(назва факультету (ННІ))

Братішко В.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
охорони праці та біотехнічних систем
у тваринництві

(назва кафедри)

Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження конструктивно-режимних параметрів мобільного
агрегату для доїння корів в фермерських господарствах»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Освітня програма Агроінженерія
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братішко В.В.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ачкевич О.М.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Овчаренко Ярослав Олександрович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві

д.т.н., професор _____ Хмельовський В.С.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту
Овчаренко Ярослав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Дослідження конструктивно-режимних параметрів мобільного агрегату для доїння корів в фермерських господарствах»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 р. №2038 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 12.12.2025
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи технічні характеристики тракторних технологічних агрегатів.

Перелік питань які потрібно розробити:

Вступ

1 Фізіологічні та технічні аспекти доїння корови

2 Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра зняття доїльного апарату та шасі мобільного агрегату

3 Методика досліджень мобільного агрегату для доїння корів

4 Результати досліджень мобільного агрегата для доїння корів

Висновки

Список використаних джерел.

Перелік графічного матеріалу:

Класифікація маніпуляторів доїльних установок; Алгоритм роботи мобільного агрегату для доїння корів; Блок-схема мобільного агрегату для доїння корів; Мобільний агрегат для доїння корів; Загальний вигляд експериментальної установки; До розрахунку ходу поршня пневмоциліндра зняття Графік залежності потрібного ходу поршня від відстані точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика горизонтальній площині.

Дата видачі завдання «09» лютого 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Ачкевич О.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Овчаренко Я.О.
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ДОЇННЯ КОРОВИ	6
1.1. Класифікація технічних засобів машинного доїння корів	12
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ	17
2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми мобільного агрегату для доїння корів	17
2.2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра зняття доїльного апарату та шасі мобільного агрегату	23
2.2.1 Теоретичне обґрунтування ходу поршня пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови	23
2.2.2 Теоретичне обґрунтування натягу троса пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови	25
2.2.3 Теоретичне обґрунтування положення центру ваги шасі мобільного агрегату для доїння корів	28
2.2.4 Теоретичне визначення реакцій на опорах шасі мобільного агрегату для доїння корів	32
2.2.5. Теоретичне обґрунтування діаметра і вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови	36
3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ	48
3.1 Методика дослідження сили натягу троса пневмоциліндра при русі доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha_t=0$	49
3.2 Методика дослідження положення центру ваги мобільного агрегату для доїння корів	53
3.3 Методика дослідження стійкості від перекидання мобільного агрегату для доїння корів	56
3.4 Методика дослідження сили, що розвивається на тросі пневмоциліндром, залежно від його діаметра і вакуумметричного тиску	59
3.5 Методика дослідження часу досягнення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра мобільного агрегату для доїння корів	63

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ	69
4.1 Результати досліджень сили натягу троса пневмоциліндра під час руху доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha_t=0$	69
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ	76
5.1. Розрахунок економічного ефекту експериментального мобільного агрегату для доїння корів	76
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	82

ВСТУП

Створення нових виробничих потужностей, зміцнення та розвиток діючих підприємств, розвиток малого бізнесу, фермерського підприємництва в галузі виробництва сировинних ресурсів для випуску продуктів харчування тваринного походження – головне завдання сьогодні.

Становлення та розвиток молочного скотарства – непросте завдання. корів. Необхідно відпрацьовувати нові технологічні прийоми вирощування і вмісту корів, що мають високу продуктивність. При цьому одне з головних складових у процесі виробництва молока - машинне доїння корів. Від ефективності їх взаємодії залежить надій молока від корови, ступінь видоїнності вимені, стан здоров'я тварини, наступна молочна продуктивність та багато іншого. Сучасне промислове виробництво базується на використанні спеціалізованих приміщень, доїльними установками з різними способами фіксації корів на період доїння, забезпечених елементами автоматичного контролю та управління процесом доїння. корови, обраний один параметр інтенсивність потоку молока, що виводиться з вимені корови, рідше з окремо взятої частки.

Напрямок розвитку молочного скотарства - дрібнотоварне виробництво. Воно передбачає доїння невеликих груп корів, що внаслідок відсутності будь-яких елементів автоматичного управління технологічним процесом, оператор витрачає на доїння однієї корови не менше п'яти хвилин, суб'єктивно оцінюючи інтенсивність потоку молока, при якому доїльний апарат знімається з вимені корови. У той час ця розробка елементів його конструкції, що дозволяють зменшити витрати ручної праці на обслуговування корови в процесі доїння, зокрема на зняття доїльного апарату з вимені.

Ціль досліджень. Зниження витрат праці оператора машинного доїння на основі розробки та обґрунтування параметрів шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату для доїння корів.

Завдання досліджень. Досягнення дослідження потребує вирішення наступних завдань: виявити перспективні напрями у створенні мобільних агрегатів для доїння корів у фермерських господарствах; виконати математичне моделювання руху доїльного апарату у процесі зняття з вимені, функціонування шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату; обґрунтувати конструктивні параметри шасі доїльної установки та конструктивно-режимні параметри пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови; вивчити вплив розробленого мобільного агрегату для доїння корів на зниження витрат праці, оцінити його ефективність.

Об'єкт досліджень - робочий процес мобільного агрегату для доїння корів
Предмет досліджень - закономірності зміни положення опор шасі доїльної установки та параметрів пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату для доїння корів.

1. ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ДОЇННЯ КОРОВИ

Найпростіший спосіб вилучення молока з вимені корови задоволення потреб населення у молочних продуктах - ручне доїння. Однак це досить трудомістка операція і, як свідчить досвід минулих років, у робітників, які професійно займаються ручним доюванням корів, у більшості випадків вже через 10...12 років спостерігається захворювання кистей рук. Тому не випадково ще з початку ХІХ століття почали займатися створенням технічних засобів, здатних замінити руку людини в процесі доїння корів. Найпростіші машини були виконані у вигляді резервуара, що присмоктується до вимені під впливом вакуумметричного тиску, створюваним хутряним відсмоктувачем повітря. А вже наприкінці ХІХ століття з'явився доїльний апарат, який став основою сучасного доїльного обладнання. Але, на жаль, до теперішнього часу продовжуються роботи з віднайдення його оптимальної конструкції. Розробляються нові пульсатори, колектори, доїльні склянки та соскова гума, змінюються режими їх роботи, проте бажаний результат, повне вилучення молока з часткою вимені за час дії окситоцину в організмі корови без наслідків для молочної залози дотепер не досягнуто.

Природно, що в конструкцію доїльного апарату повинна бути закладена здатність реагування на фізіологічні особливості корів, морфофункціональні властивості вимені, на реакцію нейрогуморальної системи тваринного на доїльні імпульси шляхом зміни способів і режимів впливу на соски вимені виконавчих механізмів. А ось як реагувати і намагаються з'ясувати вчені та практики протягом багатьох років.

Очевидно, що найефективніший механізм вилучення молока з вим'я корови – це механізм, створений самою природою. Такий принцип впливу на сосок корови, яким володіє теля, і має бути закладений у конструкцію доїльного апарату. Вивчаючи процес ссання корови, вчені відзначають, що теля при цьому здійснює досить прості дії, по черзі то збільшуючи вакуумметричний тиск, то знижуючи його до 20 мм.рт.ст. при чергуванні зі швидкістю 100 ... 120 циклів за хвилину. А також інші дослідники відзначають той факт, що теля в процесі годування з вимені корови тягне тільки цистернальне молоко, і то не в повному обсязі з усіх часток. Але при цьому відзначається той факт, що вплив теляти на сосок корови - абсолютно нешкідливий. Абсолютно нешкідливе і ручне доїння, оскільки сосок не відчуває вплив вакуумметричного тиску в процесі виведення молока, а воно просто вичавлюється з соска пальцями дояра. Однак ручне доїння, як і ссання корови телят мають один загальний недолік: - вони не стимулюють продукування молока і, як наслідок, зростання молочної продуктивності корів.

При ссанні корови телям молоко з сосків з тягнеться почергово і лише в кількості, достатньому для його насичення. При ручному доїнні молоко витягується з одного-двох сосків до моменту повного видавання. Однак час доїння перевищує час дії окситоцину в організмі тварини, що також не сприяє стимулюванню розвитку молочної залози. Вирішення проблеми – застосування

доїльного апарату. До цього часу не вдалося створити доїльний апарат один в один, що представляє ссання корови телям. Разом з тим доїльні машини, що застосовуються, дозволили скоротити витрати ручної праці, підвищити кількість корів, які доїть за зміну один оператор, в результаті збільшення видоєності корів спостерігається зростання молочної продуктивності тварин. А паралельно вже протягом багатьох років продовжуються роботи з удосконалення доїльних машин. Для цього неодноразово проводилися дослідження процесу споживання молока теляткою з вимені корови для виявлення тих тонкощів, які можна було б закласти в конструкцію доїльних апаратів.

Наприклад, вчений встановив залежність часу початку патологічних змін ділянки тіла живого організму, що піддається впливу вакуумметричного тиску від величини цього тиску. Здатність протистояти зовнішньому впливу, за рекомендацією, можна покласти основою розрахунку режимних параметрів на сосок вимені корови. Наведено результати дослідження щодо визначення характеру впливу теляти на сосок вимені корови в процесі стимулювання та ссання вимені.

При цьому виявлена одна особливість процесу ссання молока - низькочастотне 1,5 ... 2,5 Гц і високочастотне, 5 ... 22,5 Гц, коливання тиску в порожнині рота теляти. Встановлено, що стимулюючим впливом на молочну залозу має частота коливань тиску, що знаходиться в інтервалі 7,5 ... 12,5 Гц. У ряді робіт зазначається, що номінальний вакуумметричний тиск доєння для основної маси корів становить 46,6 ... 49,33 кПа, і збільшення його може викликати гіперемію соска, що загрожує запаленням вимені [5, 6, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 2]. Але слід мати на увазі, що це ж тиск у доїльному ста кані, але після завершення доїння і відсутності молока, що виводиться з соска, так само може викликати ураження вимені. За даними це може спричинити скорочення лактації до 240 днів і втрату до 100 кг молока внаслідок захворюваності на вимену корови маститом.

Також здатне викликати захворювання вимені застаріле вітчизняне доїльне обладнання, що має досить «жорсткий» режим роботи, при порушенні правил його експлуатації. Тому для забезпечення нешкідливого впливу на вим'я корови необхідно, щоб доїльний апарат володів адекватним стимулюючим впливом на молочну залозу, здатним викликати і підтримувати лактацію вимені, а також його захист від згубного впливу вакуумметричного тиску в критичні моменти: - при встановленні доїльного апарату на вим'я і від потоку молока нижче допустимих значень.

В силу відсутності єдиної точки зору, яким же має бути режим роботи доїльного апарату, конструкція його виконавчого органу, різними з готувальниками у співдружності з науковцями та практиками відпрацьовуються різноманітні напрямки. При цьому варіювання піддаються вакуумметричний тиск, частота пульсацій і співвідношення тактів, вибирається стабільний режим роботи або змінюється в залежності від інтенсивності потоку молока, здійснюється контроль процесу доїння в цілому по вимені або по четвертній.

Крім того, відпрацьовуються конструкції доїльного обладнання стосовно різних способів фіксації тварин на час доїння, а також при вільному їх вигульовому утриманні в умовах фермерських господарств і приватних подвір'їв. Для встановлення ефективності прийнятих рішень, уточнення конструктивно-режимних параметрів доїльних машин, неодноразово проводилися дослідження як у лабораторіях, так і у виробничих умовах багатьма вченими

Це пов'язано з тим, що машинне доїння не повною мірою реалізує генетичний потенціал тварини, оскільки витягується з молочної залози не все альвеолярне молоко. Як відзначають автори, для вирішення цієї проблеми в низьковакуумному доїльному апараті АДУ-1-03 передбачений у такті стиснення впуск повітря в приймальну камеру колектора, а значить, і в підсосковій камері склянок атмосферного повітря, тим самим забезпечуючи інтенсивне транспортування молока з молокоприймачів. до 8...12 кПа. Так як доїльний апарат АДУ-1-04 включає двоблочний пульсатор з високочастотною складовою пульсацій руху повітряного струму, то стимулюючий вплив вібрацією соскової гуми здійснюється протягом усього доїння.

Ще були розробки багатофункціональний доїльний апарат, що реалізує три режими доїння: однофазний зі стимуляцією молоковіддачі, двотактний, трифазний стимулюючий. Стимулююча дія здійснюється на початку процесу доїння і при зниженні інтенсивності потоку молока до критичного значення

Досить цікавим є технічне рішення доїльного апарату безперервного вилучення молока з соска. Можливим це стало в результаті поділу міжстінної камери доїльної склянки на дві рівні камери двома вертикальними перегородками. При подачі пульсуючого вакуумметричного тиску в міжстінні камери доїльної склянки в протифазі, при одночасному збереженні постійного вакуумметричного тиску під соском, відбувається безперервне відсмоктування-вичавлювання молока. зміна тактів у камерах склянок викликає їх коливання в обох площинах, тим самим надаючи додатковий стимулюючий вплив на вим'я корови.

Внаслідок недосконалості технологій машинного доїння корів і технічних засобів для їх здійснення до 50% корів схильні до захворюваності на виміння маститом, у той час як при ручному доїнні ця цифра не перевищує 3...5%. Це стосується не лише нашої країни.

У світі не створено доїльного апарату для використання при стійловому утриманні корів, що повною мірою відповідає зоотехнічним вимогам і виключає «сухе» доїння. На думку авторів тільки автоматизація процесу доїння з елементами зворотного зв'язку можуть вирішити проблему здоров'я дійного стада, трудовитрат на обслуговування тварин, збільшення надою молока від корів і поліпшення його якості.

Повною мірою проблема автоматизації процесу доїння корів вирішується під час використання доїльних установок-роботів, вироблених зарубіжними компаніями. Цікавими є результати порівняльних випробувань пересувної доїльної установки.

Для цього було відібрано дві групи корів-первотелок голштинської породи по 45 голів, відповідно до вимог щодо відбору тварин для порівняльних випробувань. Тварини контрольної групи утримувалися на прив'язі. Їх доїння здійснювалося агрегатами індивідуального доїння Vosio MMU11 компанії Де Лаваль. Досвідчена група була безприв'язно з вільним доступом до доїльної установки - роботу VMS-1 компанії «Де Лаваль».

При цьому вивчалися молочна продуктивність, фізико-хімічний склад молока, морфофункціональні властивості вимені. Результати досліджень підтвердили доцільність використання автоматизованих систем для обслуговування та доїння корів. За удою за сто днів лактації тварини дослідної групи перевершили тварин контролю на 498 кг.

На 11% корів дослідної групи більше мали форму вимені, що відповідає вимогам за формою та рівномірністю розвитку. Корови дослідної групи перевершували корів групи контролю та за іншими показниками. Тому очевидна доцільність використання для доїння корів робота VMS-1 компанії «Де Лаваль».

Наголошують на необхідності в рамках наукової роботи, поряд з іншими важливими напрямками удосконалення технології виробництва молока, розробляти автоматизовані доїльні модулі та доїльні апарати для створення оптимальних умов обслуговування і доїння корів, сприяють зниженню витрат ручної праці, ступеню видоєності доїльних машин на молочну залозу.

Аналізуючи інформацію про відомі маніпулятори промислового типу, що для використання у складі доїльних установок найбільше підходять маніпулятори, що володіють трьома ступенями свободи ангулярного і циліндричного типу.

Разом з тим, з метою здешевлення запропонованої конструкції, автори рекомендують використовувати гібридний маніпулятор, що включає два елементи: рухомий та нерухомий. Причому по руховий елемент забезпечує встановлення доїльних склянок на соски вимені, а нерухомий - їхнє зняття та підтримку. До 30% витрат ручного праці під час виробництва молока займає машинне доїння корів».

А застосування доїльних машин, що не містять додаткових пристроїв для управління доїнням, загрожує перетримками до ільного апарату на молочній залозі і, як наслідок, стресами та захворюванням корів. І головним при цьому є виключення людського фактора, забезпечення адекватної взаємодії машини і тварини, що, зрештою, позначиться на повноті видоєності вимени корови, а, отже, на молочній продуктивності, збільшить термін використання корови і зростання її генетичного потенціалу.

На думку дослідників, сучасне доїльне обладнання, яке застосовується на лінійних установках, обладнаних молокопроводом, повинні комплектуватися елементами автоматики контролю потоку молока, що виводиться з вимені, та зняття доїльного апарату з молочної залози. Ними розроблено, виготовлено та випробувано в лабораторних умовах пристрій для автоматичного зняття до ільного апарату. Випробування підтвердили працездатність запропонованої

конструкції знімного механізму для доїльних апаратів, виконаного в 19 вигляді барабана, що приводиться в дію пневмодвигуном.

При встановленні потужності приводу N на валу барабана використовували рівняння:

$$N = M\omega, \quad (1.1)$$

де ω - кутова швидкість, рад/с;

M - крутний момент, Нм,

який визначали за рівнянням:

$$M = \frac{mgD}{2} \quad (1.2)$$

де m - маса підвішеного вантажу, кг;

D - діаметр барабана, м;

При знятті доїльного апарату його рух регламентовано недопустимістю його контакту з підлогою стійла тварини при переміщенні в нижню точку траєкторії. Для знаходження закону руху доїльного апарату з кутом φ відхилення від вертикалі, рівнянням Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0? \quad (1.3)$$

де L - функція Лагранжа, Дж;

У ході подальших теоретичних досліджень процесу зняття доїльного апарату з молочної залози встановлювали критичну частоту обертання барабана механізму зняття, за якої виконується умова запобігання контакту доїльного апарату зі стійлом корови.

В остаточному вигляді рівняння для розрахунку цього параметра має вигляд:

$$\omega_{kr} = \frac{\sqrt{g(y-b)(1-\cos\varphi_0)}}{r \cos\varphi_0} \quad (1.4)$$

де r - радіус барабана пневмодвигуна, м;

φ_0 - поточний кут, рад;

b - відстань до підлоги, м.

Відмінною особливістю маніпулятора, розробленого Ужик В.І., 20 є те, що в ньому в якості силового елемента, що знімає доїльний апарат з вимені корови, використовується пневмоциліндр. Математичним моделюванням робочого процесу зняття доїльного апарату масою m встановлено значення зусилля F_c пневмоциліндра, необхідного для запобігання контакту доїльного апарату з підлогою стійла тварини в процесі зняття з вимені корови в нижній точці траєкторії.:

$$F_c = mg \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{2R\varphi}{k} - \frac{3\varphi^2}{2} \right) - \left(\frac{\varphi^2}{2 \cdot 2!} - \frac{\varphi^4}{4 \cdot 4!} + \frac{\varphi^6}{6 \cdot 6!} \cos\varphi \right) \right] \quad (1.5)$$

де k - параметр спіралі Архімеда;

φ – поточний кут положення доїльного апарату, рад.

R – початковий радіус руху доїльного апарату, м.

При цьому вакуумметричний тиск P_v в пневмоциліндрі повинен дорівнювати:

$$P_v = \frac{mg \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{2R\varphi}{k} - \frac{3\varphi^2}{2} \right) - \left(\frac{\varphi^2}{2 \cdot 2!} - \frac{\varphi^4}{4 \cdot 4!} + \frac{\varphi^6}{6 \cdot 6!} \cos \varphi \right) \right]}{S_c} \quad (1.6)$$

де S_c – площа поперечного перерізу циліндра, м.

Вочевидь, що з доїнні нечисленних груп великої рогатої худоби застосування промислових доїльних установок недоцільно. Як правило, у таких випадках використовують агрегати індивідуального доїння корів. При їх вдосконаленні та встановленні додаткових пристроїв, що реалізують керований режим доїння, у тому числі і виведення доїльного апарату з-під вимені корови, може виникати ситуація, при якій виникатиме небезпека перекидання агрегату. Запропонований мобільний автомат для доїння корів забезпечений важливим багатоланковим маніпулятором, що забезпечує керований режим доїння і зняття доїльних склянок з молочної залози після завершення процесу доїння.

В результаті математичного моделювання процесу зняття доїльного апарату з вимені корови залежність, що характеризує взаємозв'язок між положенням центру тяжіння, що змінюється в залежності від кута повороту ланок маніпулятора, і положенням опор агрегату, при яких забезпечується стійкість агрегату.

Таким чином, як свідчать вищенаведені результати досліджень різних способів впливу на молочну залозу з метою пошуку оптимального впливу, що володіє максимальним ефектом, що забезпечує зростання молочної продуктивності корів, підвищення продуктивності праці поряд зі зведенням до мінімуму захворюваність вимені маститом, цілі свідомість елементів автоматизації. Разом з тим, слід зазначити, що при створенні мобільного агрегату для доїння корів перед нами стоїть два завдання: - Підвищення молочної продуктивності корів з одночасним забезпеченням безпечного доїння; - Зниження витрат праці на обслуговування мобільного агрегату для доїння корів. Як впливає з наведеного вище аналізу, з мінімальними витратами, але достовірним ефектом досягти цього можна шляхом відстеження завершення процесу доїння і зняття доїльного апарату з вимені корови. Тому представляється дуже важливим для отримання більш повної інформації про відомі пристрої, що контролюють інтенсивність потоку молока, і механізми зняття доїльного апарату з вимені корови, і виявлення найбільш прийнятних їх конструкцій для використання в мобільних агрегатах доїння корів, виконати їх аналіз, систематизацію і класифікацію.

1.1. Класифікація технічних засобів машинного доїння корів

Як підтверджує проведений аналіз, спектр впливів, що варіюють, на молочну залозу корови досить великий. Тому відпрацьовуються раз особисті напрями у створенні нових технічних засобів, що реалізують ці дії з достатнім ефектом.

Розглядаючи відоме технологічне обладнання для доїння корів, нові технічні рішення, слід зазначити, що, перш за все, при систематизації їх слід розглядати в кількох напрямках, це обладнання для добровільного доїння корів, доїльні установки-роботи; верстатне доїльне обладнання, що застосовується при безприв'язно-боксовій системі утримання корів з доїнням у доїльному залі; прив'язне утримання зі збиранням молока в молокопровід; прив'язне утримання зі збиранням молока в доїльні відра; прив'язно-безприв'язне утримання корів в умовах фермерських господарств та приватних обійсть (рисунок 1.1).

що розробляється Томасом, є те, що він містить захватний пристрій для доїльних склянок, а до його основи з можливістю повертатися щодо його осі за допомогою зчленування прикріплений сполучний механізм. Але незважаючи на найбільш щадні умови доїння тварин, присутність високого вакуумметричного тиску в підсосковій камері доїльної склянки, що значно перевищує тиск у роті теляти, не виключає можливості ураження вимені тварини.

Так само як технологія добровільного доїння корів, так і безприв'язково боксова технологія утримання корів, дає певну свободу тваринам для їх переміщення, скажімо, до кормового столу, в зону розміщення водонапувалок, лежаків і т.д., створюючи сприятливі умови для їх нормального існування. Крім того, за такої технології створюються найбільш сприятливі умови для підтримки заданого мікроклімату вмісту корів за рахунок вільного сполучення внутрішньої частини приміщення із зовнішнім середовищем.

Але при цьому певною мірою погіршується проблема забезпечення безпеки на вим'я доїльного обладнання. І тому залишається актуальним питання вдосконалення взаємодії доїльного апарату та молочної залози. Найпростіша адаптація доїльного апарату до інтенсивності потоку молока реалізована в машині конструкції Великобританії, яка містить систему важелів, керованих пневмоциліндрами. При припиненні молоковіддачі ці важелі під впливом пневмоциліндрів за допомогою гнучкої тяги знімають доїльний апарат з вимені корови. Силовий пневматичний циліндр з тримачем і датчиком потоку молока патенту США механізм, який вирішує таку ж задачу: відключення і видалення доїльного апарату з-під вимені корови наприкінці доїння. Відомий силовий механізм для зняття доїльного апарату, який містить основну опору і опору доїльного апарату, керовані датчиком по струму молока, а також найпростіший пристрій - пневмоциліндр зняття доїльного апарату, відмінною особливістю якого є те, що нижній його торець закритий.

Силовий елемент у вигляді пневмоциліндра містить і наступний автомат зняття доїльного апарату з вимені корови, тільки його повідомлення з вакуумною магістраллю за командою датчика потоку молока здійснюється за допомогою електроклапану. Досить проста, але вирішальна поставлена задача шляхом використання електронного блоку управління і шнурового механізму з направляючим рисом - зняття доїльного апарату з вимені корови, конструкція маніпулятора фірми Бабсон Бразер.

А ось наступний доїльний пристрій має додаткову опцію зміна вакуумметричного тиску доїння. Ускладнюючи конструкцію маніпуляторів, але цим змінюючи перелік виконуваних операцій запропонували включити в його конструкцію поплавковий датчик для контролю потоку молока, що включає режим додої при інтенсивності потоку молока нижче 400-450 мл/хв.

Маніпулятор доїльної установки, також передбачили в його конструкції можливість відтягування доїльних склянок при зменшенні потоку молока до критичного значення, використовуючи для цього тягу, одним кінцем сполучається з доїльним апаратом, а вільним кінцем, пристрій для зняття

доїльних склянок з сосків вимені з аналогічним попередньому пристрої технічним рішенням відтягування доїльних склянок.

Маніпулятор конструкції Науково-виробничому об'єднанні по селекційній техніці має демпфуючий ефект, що пом'якшує ривки і поштовхи, коли включається режим додої. Для цього він має гідроцилін дром. Відмінна особливість конструкції маніпулятора, наявність гнучких ниток, що з'єднуються з доїльним апаратом таким чином, що забезпечується відтягування в потоку молока до заданого рівня, та зняття їх з вимені щодо припинення молоковіддачі.

Як зазначалося вище, значна частина корів доїться на невеликих фермах і у приватників. Для полегшення праці часто використовують агрегати індивідуального доїння корів. І для забезпечення оптимального режиму доїння їхня автоматизація дуже актуальна.

В даний час відомі приватні рішення проблеми. Так відомий пересувний доїльний модуль, що має можливість зняття доїльного апарату з вимені корови. Для зняття доїльного апарату з вимені корови доїльний модуль обладнаний поворотним механізмом важеля, що має можливість і вертикального переміщення. Вільний кінець важеля гнучкою тягою пов'язаний із доїльним апаратом. Мобільний автомат доїння корів, у конструкцію якого закладено можливість почетвертного керованого режиму доїння та зняття доїльного апарату за допомогою важільного механізму.

Але, водночас, слід зазначити, що важільний механізм досить громіздкий і обмежений у розмірах, оскільки при надмірному подовженні важелів порушується стійкість доїльного агрегату.

З отриманої інформації випливає, що на даному рівні розвитку техніки для забезпечення безпечного доїння корів у невеликих фермерських господарствах та приватних подвір'їв з використанням для цього пересувних доїльних установок потрібно механізувати завершальні операції доїння тварин.

Як випливає з викладеної вище інформації, знайомства з варіантами конструкцій доїльних машин, можна так сформулювати мету справжньої роботи: зниження витрат праці оператора машинного доїння на основі розробки та обґрунтування параметрів шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату для доїння корів. Досягнення мети досліджень потребує вирішення наступних завдань: виявити перспективні напрями у створенні мобільних агрегатів для доїння корів у фермерських господарствах; виконати математичне моделювання руху доїльного апарату в процесі зняття з вимені, функціонування шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату; обґрунтувати конструктивні параметри шасі доїльної установки та конструктивно-режимні параметри пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови; вивчити вплив розробленого мобільного агрегату для доїння корів зниження витрат праці, оцінити його ефективність.

З отриманої інформації випливає, що на даному рівні розвитку техніки для забезпечення безпечного доїння корів у невеликих фермерських господарствах

та приватних підвір'їв з використанням для цього пересувних доїльних установок потрібно механізувати завершальні операції доїння тварин. Як впливає з викладеної вище інформації, знайомства з варіантами конструкцій доїльних машин, можна так сформулювати мету справжньої роботи: зниження витрат праці оператора машинного доїння на основі розробки та обґрунтування параметрів шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату для доїння корів.

Досягнення мети досліджень потребує вирішення наступних завдань:

- виявити перспективні напрями у створенні мобільних агрегатів для доїння корів у фермерських господарствах;
- виконати математичне моделювання руху доїльного апарату у процесі зняття з вимені, функціонування шасі доїльної установки та пневмоциліндра зняття доїльного апарату мобільного агрегату;
- обґрунтувати конструктивні параметри шасі доїльної установки та конструктивно-режимні параметри пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови;
- вивчити вплив розробленого мобільного агрегату для доїння корів на зниження витрат праці, оцінити його ефективність.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ

2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми мобільного агрегату для доїння корів

В основу компунувальної схеми сучасного доїльного обладнання покладено розробки кінця ХІХ - початку ХХ століття. Але водночас слід зазначити, що у конструкції доїльних машин, особливо в останні десятиліття, відбуваються значні зміни. На початку цих змін лягли результати поглибленого вивчення закономірностей основних фізіологічних функцій лактуючого організму корови, пізнання методів стимуляції молочної продуктивності, досліджень впливу стимулів ссання або доїння на формування активних реакцій рухового апарату молочної залози, вивчення характеру впливу на соски і частки. Бурхливий технічний прогрес, створення електронних систем контролю та управління технологічними процесами повною мірою торкнулися й галузі машинобудування у галузі доїльного обладнання.

Прагнення максимально наблизити характер впливу технічного пристрою на соски вимені корови до природного процесу ссання корови телям спричинило необхідність застосування елементів автоматики, що контролюють потік молока і здійснюють управління режимом впливу на соски вимені. Керовані параметри вакуумметричний тиск доїння в камерах доїльних склянок, частота та співвідношення тактів пульсацій пульсатора, а також момент зниження вакуумметричного тиску після завершення доїння або відключення та зняття доїльного апарату з вимені корови. Але слід зауважити, що поза залежністю від конструкції, використовувані доїльні апарати надають досить «жорсткий» вплив на соски вимені.

За даними досліджень у процесі ссання корови в порожнині рота місячного теля вакуумметричний тиск не перевищує 30,0 кПа, а у теля у віці 2-3 дні і зовсім становить 8,0-33 кПа, у той час як вакуумметричний тиск у доїльних апаратах не опускається нижче 33,2 кПа. У номінальному режимі доїння в більшості доїльних апаратів вакуумметричний тиск коливається в інтервалі 42,0 - 48,0 кПа. Це пов'язано, перш за все, з необхідністю швидкого вилучення молока в період дії окситоцину. Нами відпрацьовувалися методи захисту вимені корови від шкідливого впливу високого вакууму при доїнні в бідон, а також при збиранні молока в молоко дріт. Використовуючи цей досвід, а також на основі системного синтезу наявної інформації про керовані режими доїння корів, відомі технічні рішення конструкцій виконавчих вузлів і механізмів доїльних машин, нами сформовано алгоритм роботи мобільного агрегату для доїння корів, наведений на рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 - Алгоритм роботи мобільного агрегату для доїння корів

Алгоритм передбачає наступні дії оператора і режими роботи агрегату: оператор включає вакуумну апаратуру агрегату, встановлює за 34 даний вакуумметричний тиск і встановлює датчик потоку молока в стартове положення, зафіксувавши поплавець скочкою, що перекидається, під ставивши її під головку плунжера.

Внаслідок цього пневмоциліндр зняття доїльного апарату повідомляється з атмосферою. Оператор встановлює доїльний апарат на вим'я корови. Починається процес доїння. При збільшенні інтенсивності потоку молока вище контрольного значення, наприклад 200 мл/хв., поплавок спливає, піднімаючи плунжер разом з головкою і тим самим звільняючи перекидається скобу, яка повертається у вихідне положення.

Датчик потоку молока переходить у режим стеження. При зниженні потоку молока в доїльних склянках нижче контрольного значення, поплавок опускається в крайнє нижнє положення і відключає доїльний апарат від вакуумметричного тиску, краща доїння, і одночасно підключає пневмоциліндр для зняття доїльного апарату з вименювання корови. Доїння завершено. Даний алгоритм роботи мобільного агрегату для доїння корів послужив основою розробки його блок-схеми, яка наведена рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Блок-схема мобільного агрегату для доїння корів

Блок схемою передбачається включення в конструкцію мобільного агрегату для доїння корів відповідних вузлів і механізмів, призначених для контролю інтенсивності потоку виведення з вимені, відстеження моменту завершення процесу доїння та зняття доїльного апарату з молочної залози корови. Все це, зрештою, спрямоване на досягнення кінцевої мети виключення шкідливого впливу на молочну залозу тварини, здатної викликати захворюваність на мастит, підвищити видоєність корови, виключити суб'єктивний фактор впливу на процес доїння, підвищити продуктивність праці оператора за рахунок автоматизації заключної операції доїння.

Запропоновану блок-схему доїльного пристрою ми використовували при розробці конструктивно-технологічної схеми мобільного агрегату для доїння корів. Її новизна підтверджена патентами на винахід (рисунок 2.3).

Розроблений нами мобільний агрегат для доїння корів (Рисунок 1) забезпечує від'єднання та виведення з-під вимені корови доїльного апарату після завершення доїння. Доїльний агрегат (рисунок 2.3) включає шасі 5 доїльного агрегату, доїльний апарат 12, доїльне відро 6, вакуумну апаратуру 2 і вертикально встановлений на шасі 5 пневмоциліндр 33. Зверху пневмоциліндра 33 на підшипнику 32 змонтований важіль. 35 пневмоціліндра 33 містить обвідний ролик 34. До колектора 8 доїльного апарату 12 приєднаний трос 27, протилежний кінець якого, проходячи по обвідних роликів 29 і 30 важеля 31 і

далі охоплюючи ролик 34 поршня 35, прикріплений ролик 34 поршня 35. утримання троса 27 на обвідних роликах 29 і 30 до вільного кінця поворотного важеля 31 шарнірно прикріплений хвостовик 28. У кришці 18 доїль ного відра 6 встановлений датчик потоку молока 41, виконаний у вигляді камери поплавця 16 з поплавком 17.

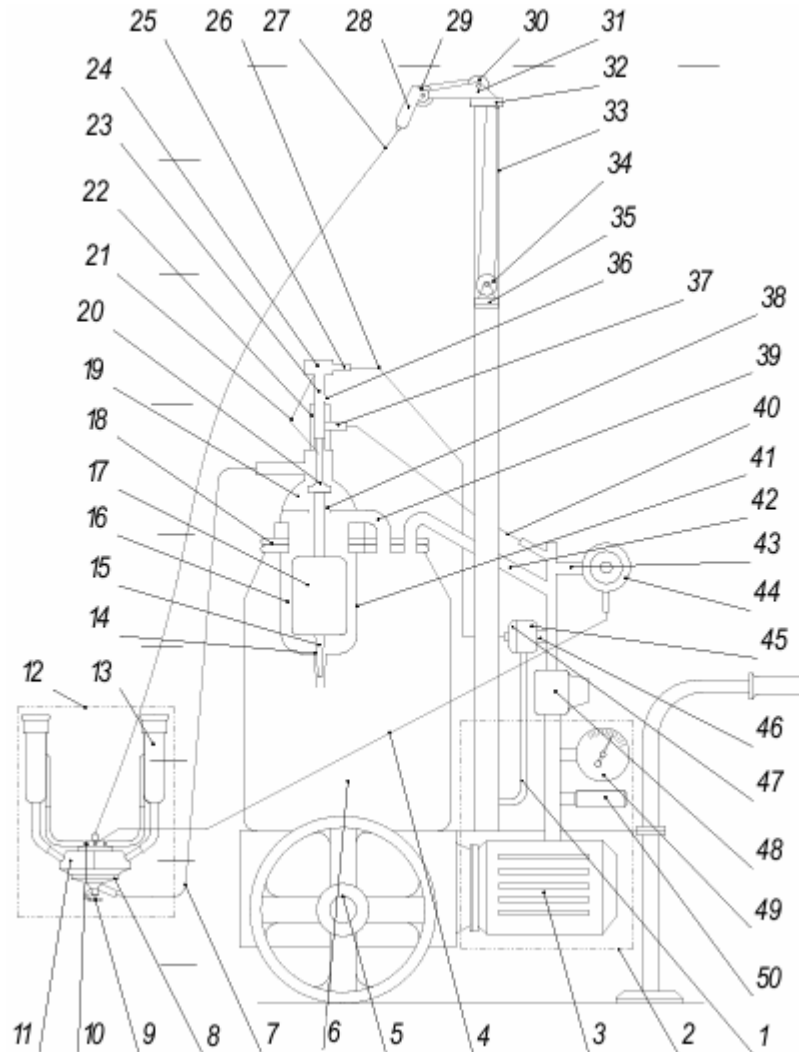


Рисунок 2.3 - Мобільний агрегат для доїння корів

Найменування рисунку 2.3): 1, 40, 42, 43, 46 - патрубок; 2 – вакуумна апаратура; 3 – вакуумний насос; 4 - гнучкий шланг; 5 – шасі; 6 - доїльне відро; 7 - гнучкий молочний шланг; 8 – колектор; 9 – клапан; 10 – розподільна камера; 11 - молокоприймальна камера; 12 - доїльний апарат; 13 - доїльна склянка; 14 - зливне калібрування від верст; 15 – голка; 16 - камера поплавця; 17 – поплавець; 18 – кришка; 19 - молоприймальна камера; 20 – клапан; 21 - перекидається скоба; 22 - гільза; 23 - порожнистий плунжер; 24-голівка; 25 – штуцер; 26 - гнучкий шланг; 27 – трос; 28 - хвостовик; 29 - обвідний ролик; 30 - обвідний ролик; 31 - поворотний важіль; 32 – підшипник; 33 - пневмоциліндр; 34 - обвідний ролик; 35 – поршень; 36 – отвір; 37 – штуцер; 38 - зливальний отвір; 39 - переливний патрубок; 41 - датчик потоку молока; 44 – пульсатор; 45

- пневмопідсилювач; 47 – камера управління; 48 - запірний вентиль; 49 - вакуумметр; 50 - вакуумрегулятор.

У нижній частині поплавків 17 містить конусоподібну голку 15, що утворює в дні молокоприймальної камери 19 і поплавкову, і порожнистий плунжер 23 з отвором 36 і головкою 24 зі штуцером 25. Плунжер 23 встановлений в гільзі 22, яка забезпечена штуцером 37. Отвір 36 в плунжері 23 виконано таким чином, що при нижньому положенні поплавця 3 штуцером 37 гільзи 22, а при випливанні поплавця 17 або установки датчика потоку молока 41 у стартове положення - з атмосферою. Для установки датчика потоку молока 41 в стартове положення гільза 22 містить скобу, що перекидається, 21, що встановлюється під головку 24 плунжера 23 при переміщенні оператором з членування головки 24 - плунжер 23 - клапан 20 - поплавець 17 вгору до упору. У процесі доїння і накопичення молока в поплавковій камері 16 поплавків 17 спливає і піднімає вгору пов'язані з ним деталі, тим самим звільняючи скобу 21, яка переходить у вихідне положення, звільняючи плунжер 23. Датчик потоку молока 41 переходить в режим контролю інтенсивності виводу. Молокоприймальна камера 19 датчика по струму молока 41 гнучким молочним шлангом 7, що перекривається клапаном 9, з'єднана з молокоприймальною камерою 11 колектора 8, а поплавкова камера 16 переливним патрубком 39 з'єднана з порожниною доїльного відра 2а на па ба. 3, вакуумрегулятор 50, вакуумметр 49 і запірний вентиль 48. Доїльне відро 6 з'єднане з вакуумною апаратурою 2 патрубком 42, штуцер 37 гільзи 22 датчика потоку молока 41 - па трубком 40. Пневмоциліндр 33 до вакуумної апаратури 6 пневмопідсилювач 45, камера управління 47 якого з'єднана зі штуцером 25 головки 24 плунжера 23 гнучким шлангом 26.

Доїльний агрегат (рисунок 2.3) працює так. Оператор підвозить доїльний агрегат до корови, підключає агрегат до джерела електричної енергії, включає вакуумну апаратуру 2 і відкриває запірний вентиль 48. При цьому ваку 38 умметричний тиск по патрубку 42 надходить у доїльне відро 6 і далі по переливному патрубку 49 16, по патрубку 43 - через пульсатор 44 до доїльних склянок 13, а по па трубку 46 - до пневмопідсилювача 45. Одночасно вакуумметричний тиск по патрубку 40 надходить у штуцер 37 гільзи 22, звідки через поєднане з шт 17 в порожнину плунжера 23 і далі через голівку 24 і штуцер 25 по гнучкому шлангу 26 вакуумметричний тиск надходить в камеру управління 47 пневмопідсилювача 45. У результаті пневмопідсилювач 45 повідомляє патрубком 1 з патрубком 33, під дією вакуумметричного тиску поршень 35, переміщуючись вниз, за допомогою обвідного ролика 34 втягує трос 27 всередину пневмоциліндра 33, який у свою чергу, обкочуючись по обвідних роликів 29 і 30 поворотного важеля 31 піднімає за колектор 8 доїльний 5 пневмоциліндра 33. Потім оператор, контролюючи вакуумметром 49, регулятором 50 встановлює заданий вакуумметричний тиск доїння в доїльному відрі 6, пульсаторі 44 і далі в міжстінних камерах доїльних склянок 13, а також в пневмоциліндрі 33.

Доїльний агрегат готовий до роботи. Оператор за головку 24 спільно з клапаном 20 і поплавком 17 піднімає плунжер 23 вгору до упору і встановлює перекидається скобу 21 під головку, тим самим встановлюючи датчик потоку молока 41 в стартове положення. При цьому вакуумметричний тиск з поплавкової камери 16 через відкритий зливний отвір 38 надходить у молокоприймальну камеру 19 датчика потоку молока 41 і далі в перекритий клапаном 9 колектора 8 гнучкий молочний шланг 7.

Одночасно при переміщенні плунжера 23 вгору його отвір тим самим забезпечивши доступ атмосферного тиску в порожнину плунжера 23 і далі через головку 24 і штуцер 25 по гнучкому шлангу 26 в камеру управління 47 пневмопідсилювача 45. При цьому пневмопідсилювач 45 відключає патрубок 1 від патрубку 46, соп з атмосферним тиском, який надходить у пневмоциліндр 33 і звільняє поршень 35 від діючого на нього перепаду тисків. Оператор, переміщуючи доїльний апарат 12 в напрямку вимені корови і одночасно витягуючи трос 27 з пневмоциліндра 33, впливає на хвостовик 28, який, повертаючись в шарнірі і орієнтуючись в напрямку натягу троса 27, в свою чергу повертає 3 напрямку, забезпечуючи переміщення троса 27, який обкочуючись по обвідних роликів 29 і 30 поворотного важеля 31 і обвідного ролика 34 переміщує поршень 35 пневмоциліндра 33 вгору.

Піднісши доїльний апарат 12 під вим'я корови, оператор відкриває клапан 9 і встановлює доїльні склянки 13 на соски. Починається доїння. При малій інтенсивності молоко встигає витікати з камери поплавця 16 через зливний калібрований отвір 14, утворене конусоподібною голкою 15 в її дні, в доїльне відро 6. При збільшенні інтенсивності потоку молока і його накопиченні в камері поплавця 16, поплавок 7 плунжера 23, тим самим звільнивши скобу, що перекидається, 21, яка повертаючись, опускається в початкове положення, і датчик потоку молока 41 переходить в режим стеження. При надмірному накопиченні молока в поплавковій камері 16, його надлишки перетікають по переливному патрубку 39 доїльне відро 6. При завершенні доїння в міру зменшення інтенсивності потоку молока поплавок 17 опускається вниз і при інтенсивності нижче заданого значення, наприклад 200м0/хв , отвір 38, тим самим роз'єднавши молокоприймальну камеру 19 і поплавкову камеру 16 і відключивши подачу вакуумметричного тиску по гнучкому молокопровідному шлангу 7 до доїльного апарату 12.

Одночасно плунжер 23, переміщуючись вниз, поєднує зі штуцером 2 плунжера 23 і далі через головку 24 і штуцер 25 по гнучкому шлангу 26 вакуумметричний тиск надходить в камеру керування 47 пневмопідсилювача 45. В результаті пневмопідсилювач 45 повідомляє патрубок 1 з патрубком 4 тиску, тим самим забезпечивши подачу 3 вакуумметричного тиску поршень 35, переміщуючись вниз, за допомогою обвідного ролика 34 втягує трос 27 всередину пневмоциліндра 33, який у свою чергу, обкочуючись по обвідним роликам 29 і 30 поворотного важеля 31 за колектор 8 знімає доїльний апарат 13 з дно пневмоциліндра 33.

Доїльний агрегат відключають від джерела електроенергії. Знімають кришку 18 доїльного відра з датчиком потоку молока 41, зливають молоко з доїльного відра 6 в молокоприймальний резервуар.

Доїння завершено.

Автоматичне відключення та виведення доїльного апарату з-під вимені корови дозволить виключити ручну працю та суб'єктивну оцінку процесу завершення доїння.

2.2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра зняття доїльного апарату та шасі мобільного агрегату

2.2.1 Теоретичне обґрунтування ходу поршня пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови

При складанні математичної моделі робочого процесу пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови враховували те, що, по перше - мобільний агрегат встановлюють якомога ближче до вимені корови, і по-друге - при знятті доїльного апарату з молочної залози він не повинен стикатися з підлогою стійла тварини.

У такому випадку, як впливає з опису конструкції та роботи пневмоциліндра 6 (Рисунок 2.4), для фіксації доїльного апарату в крайньому верхньому положенні хід поршня 5 повинен бути не менше половини довжини максимально висунутого з пневмоциліндра 6 троса 2 від доїльного апарату 1 доїльного апарату 1 з поршнем 5 пневмоциліндра 6:

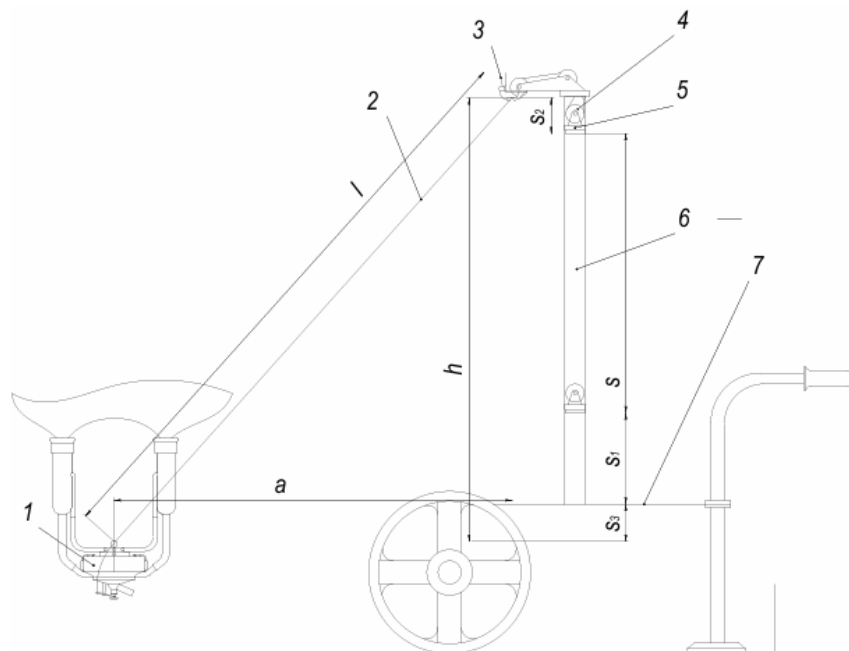


Рисунок 2.4 - До розрахунку ходу поршня пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови

1 – доїльний апарат; 2 – трос; 3 – хвостовик; 4 – обвідний ролик; 5 – поршень; 6 – пневмоциліндр; 7 – платформа візка.

$$s \geq \frac{l}{2}, \quad (2.1)$$

де l - довжина троса від точки кріплення до доїльного апарату до хвостовика, м;
 s - хід поршня, м.

З рисунка 2.4 випливає, що довжина троса 2 від точки кріплення до доїльного апарату 1 до хвостовика 3 залежить від видалення доїльного апарату від положення хвостовика 3 в горизонтальній площині, а також різниці висот положення точки кріплення троса до доїльному апарату 1 і хв .

$$l = \sqrt{a^2 + h^2} \quad (2.2)$$

де a і h - відстань від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика відповідно в горизонтальній та вертикальній площині, м;

Звертаючись до рисунка 2.4, ми можемо відзначити, що відстань h від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика у вертикальній площині залежить від ходу поршня, відстані від платформи 7 до поршня 5 при крайньому нижньому його положенні, відхилення по висоті хвостовика 3 відносник положенні, а також відхилення по висоті положення точки кріплення троса 2 до доїльного апарату 1 щодо плат форми 7 візка доїльного агрегату:

$$h = s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 \quad (2.3)$$

де s - перебіг поршня, м;

s_1 - відстань від платформи до поршня при крайньому нижньому положенні, м;

s_2 - відхилення по висоті хвостовика щодо поршня при крайньому його верхньому положенні, м;

s_3 - відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату щодо платформи візка доїльного агрегату, м. У такому випадку рівняння (2.2) з урахуванням рівняння (2.3) набуває вигляду:

$$l = \sqrt{a^2 + (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3)^2}, \quad (2.4)$$

Але слід зазначити, що в процесі роботи доїльного агрегату, трос 2 повинен бути в ненатягнутому положенні. Це досягається додатковим висунення троса 2 з пневмоциліндра 6 до досягнення поршнем 5 крайнього верхнього його положення. У такому разі рівняння (2.1) можна подати у вигляді:

$$s \geq \frac{kl}{2} \quad (2.5)$$

де k - Коефіцієнт подовження троса.

Звідси:

$$l \geq \frac{2s}{k} \quad (2.6)$$

Підставивши рівняння (2.4) до рівняння (2.6):

$$\frac{2s}{k} \geq \sqrt{a^2 + (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3)^2} \quad (2.7)$$

ми отримуємо рівняння для розрахунку ходу поршня, при якому забезпечується зняття доїльного апарату з вимені корови з подальшою його фіксацією 43 крайньому верхньому положенні. Його графічна інтерпретація – рисунку 2.5.

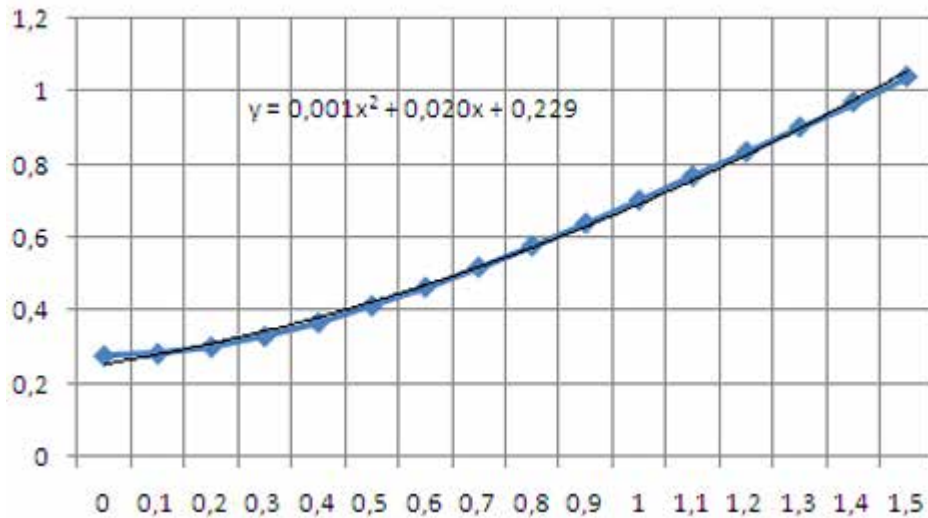


Рисунок 2.5 - Графік залежності потрібного ходу поршня від відстані точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика горизонтальній площині

Як показують результати теоретичних досліджень, для умови, що s_1 - відстань від платформи до поршня, при крайньому його нижньому положенні, дорівнює 0,1 м; s_2 - відхилення по висоті хвостовика щодо поршня, при крайньому верхньому його положенні, дорівнює 0,1 м; s_3 - відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату щодо платформи візка доїльного агрегату, що дорівнює 0,1 м; k - коефіцієнт подовження троса, що дорівнює 1,2, при відстані від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика в горизонтальній площині 1,00 м - необхідний хід поршня пневмоціліндра становить 0,70 м, а при збільшенні відстані до 1,50 м 4 ход 1.

2.2.2 Теоретичне обґрунтування натягу троса пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови

Вочевидь, що у процесі зняття доїльний апарат здійснює коливальний рух. Плоский рух досліджуваного процесу зняття доїльного апарату з молочної залози корови можна моделювати математичним маятником. Але, виходячи з умови запобігання його контакту зі статтю стійла корови, у своїх міркуваннях ми розглядатимемо рух маятника змінної довжини.

Як впливає з рисунка 2.6 у початковий момент у тросі його кріплення має бути створено зусилля F_n утримання доїльного апарату від падіння на підлогу.

Його значення можна представити у вигляді:

$$F_n \geq F_{max} \cos \alpha \quad (2.9)$$

де F_{da} - сила тяжіння, що діє на доїльний апарат, Н;

α - кут відхилення троса від вертикалі у початковий момент зняття доїльного апарату вимені корови, рад.

Сила тяжіння $F_{\text{да}}$, що діє на доїльний апарат, масою m дорівнює:

$$F_{\text{мак}} = mg \quad (2.10)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с².

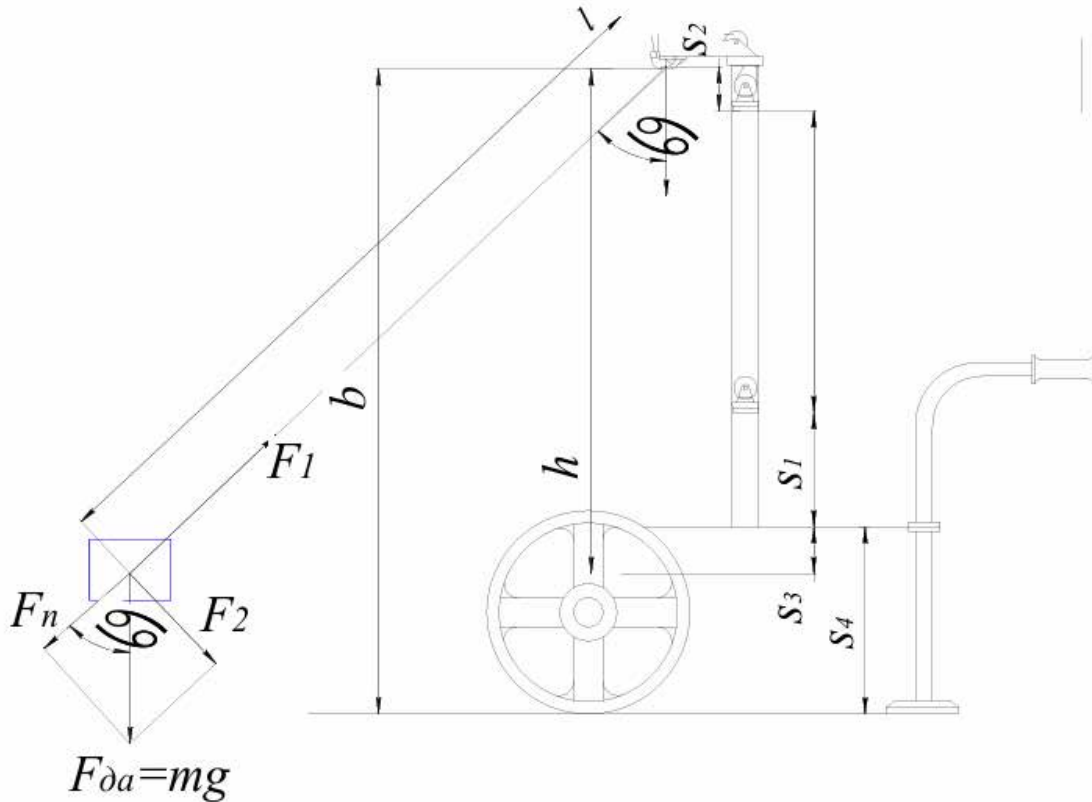


Рисунок 2.6 - Початковий момент руху доїльного апарату під час зняття з корови

А кут відхилення троса від вертикалі в початковий момент зняття доїльного апарату вимені корови залежить від відстані від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика відповідно в горизонтальній і вертикальній площині a і h :

$$\alpha = \arctan \frac{a}{h} \quad (2.11)$$

Але в міру переміщення доїльного апарату, з появою швидкості руху, виникає доцентрова сила, що впливає на натяг троса пневмоциліндра:

$$F_1 = F_{\text{мак}} \cos \alpha + F_{\text{цен}} \quad (2.12)$$

де $F_{\text{цен}}$ - доцентрова сила, Н. При швидкості v_d руху доїльного апарату, спрямованої по дотичній до траєкторії його переміщення, доцентрова сила визначається виразом:

$$F_{\text{цен}} = \frac{mv_d^2}{R} \quad (2.13)$$

де R – радіус траєкторії руху доїльного апарату, м.

У нашому випадку $R=1$ довжина троса від точки кріплення до доїльного апарату до хвостовика.

Однак слід зауважити, що, як зазначалося вище, довжина троса l – величина змінна. Оскільки висота над рівнем підлоги точки підвісу доїльного апарату, щодо якої здійснюється його обертання в процесі зняття з вимені корови:

$$b = s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 \quad (2.14)$$

де b - Висота над рівнем підлоги точки підвісу доїльного апарату, м;

s_4 – висота розташування платформи агрегату над рівнем підлоги, м, поточне значення довжини троса при русі доїльного апарату в горизонтальній площині можна представити у вигляді:

$$l_t = l - \frac{(l-b)(a-a_t)}{\alpha} \quad (2.15)$$

де l_t – поточне значення довжини троса м.

Зміщення вгору вздовж лінії троса підвісу обумовлене необхідністю зміни траєкторії руху доїльного апарату за висотою для запобігання його зіткненню зі підлогою стійла корови.

У такому разі кінетична енергія доїльного апарату складатиметься з двох складових:

$$W_d = W_k + W_c, \quad (2.16)$$

де W_d - Кінетична енергія доїльного апарату, Дж;

W_k - кінетична енергія доїльного апарату, що рухається зі швидкістю v_k , спрямованої по дотичній до траєкторії його переміщення радіусом l , Дж; W_c - кінетична енергія доїльного апарату, що рухається зі швидкістю v_c , спрямованої вздовж лінії троса до осі обертання, Дж. Потенціальна енергія доїльного апарата буде рівна:

$$W_p = mg \left(l - \frac{(l-b)(a-a_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha) \quad (2.17)$$

де α_t – поточне значення кута α рад.

А доцентрова сила:

$$F_{cen} = \frac{mv_d^2}{l_t} \quad (2.18)$$

Повна енергія доїльного апарату в крайніх положеннях дорівнює кінетичному або потенційній енергії.

У такому разі:

$$W_d - W_p = 0, \quad (2.19)$$

А оскільки:

$$v_k^2 + v_c^2 = v_d^2 \quad (2.20)$$

З цього рівняння випливає, що:

$$v_d^2 = 2g \left(l - \frac{(l-b)(a-a_t)}{\alpha \cos \alpha_t} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha) \quad (2.21)$$

Підставивши дане рівняння в рівняння (2.18), визначимо відцентрову силу, що впливає на доїльний апарат:

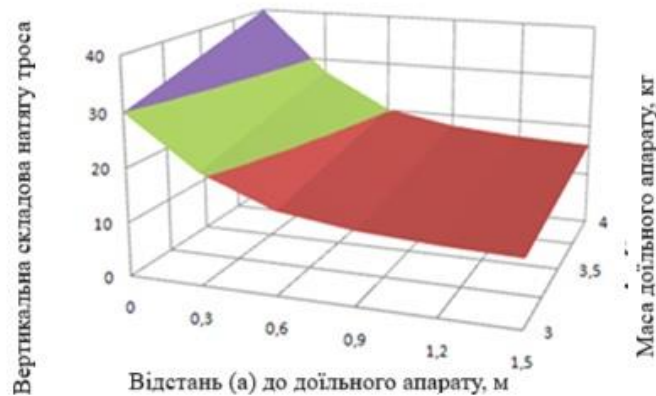
$$F_{cen} = 2mg(\cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (2.22)$$

Це дає нам можливість записати рівняння для визначення натягу троса пневмоциліндра:

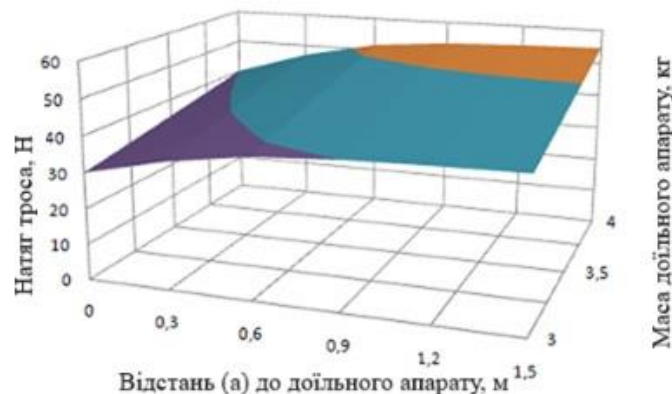
$$F_1 = mg \cos \alpha + 2mg(\cos \alpha_t - \cos \alpha) = mg(2 \cos \alpha_t - \cos \alpha) \quad (2.23)$$

З рівняння (2.23), графічна інтерпретація якого (рисунок 2.7) побудована для конструктивних параметрів доїльного агрегату, наведених вище, і варіюванні маси доїльного апарату від 3 до 4 кг, впливає, що натяг троса в процесі руху доїльного апарату змінюється.

Причому, у початковий момент руху (Рисунок 2.7. а.) що більше видалення доїльного апарату від агрегату, то менше натяг троса F_t . Так, при використанні доїльного апарату масою 4 кг, при видаленні 1,5 м натяг троса становить 25,37 Н, в той час як при нульовому видаленні ($a = 0$) натяг становить 40 Н.



а) Масса доильного аппарата, кг



б)

Рисунок 2.7 - Натяг троса пневмоциліндра в початковій точці траєкторії (а.) при $\alpha_t = \alpha$ та в нижній точці (б.) при $\alpha_t = 0$ залежно від відстані (а) та маси доїльного апарату

У той же час при проходженні в процесі руху нижнього положення траєкторії (Рисунок 2.7. б.) відзначається збільшення натягу троса зі збільшенням видалення. Воно зростає від 40 до 54,63 н.

2.2.3 Теоретичне обґрунтування положення центру ваги шасі мобільного агрегату для доїння корів

Актуальним є забезпечення стійкого стану агрегату, так як зусилля F_1 , що формується пневмоциліндром F_1 утримання доїльного апарату від падіння на підлогу викликає виникнення моменту перекидання Мопр під впливом на поворотний важіль пневмоциліндра розвивається в тросі сили F_t (рисунок 2.6)

$$F_1 = F_t. \quad (2.24)$$

Як впливає з рисунка 2.6, вертикальна складова сили F_t може бути представлена виразом виду:

$$F_{ty} = F_1 \cos \alpha, \quad (2.25)$$

а горизонтальна

$$F_{tx} = F_1 \sin \alpha. \quad (2.26)$$

Рисунок 2.8 наочно демонструє нелінійний характер зростання натягу троса пневмоциліндра в залежності від поточного кута положення до ільного апарату.

Однак аналіз рівнянь (2.25) і (2.26) свідчить про те, що якщо вертикальна складова F_{ty} натягу троса F_t плавно зростає, то горизонтальна складова F_{tx} спочатку збільшується, а потім знижується до нуля в нижній точці траєкторії (Рисунок 2.9).

49

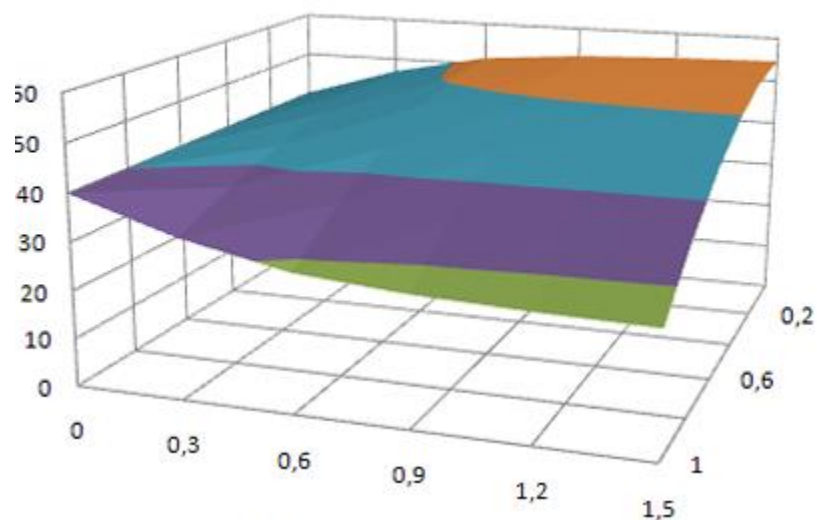


Рисунок 2.8 - Натяг троса пневмоциліндра залежно від поточного кута (α) положення та відстані (a) до доїльного апарату

Так, при видаленні доїльного апарату від агрегату 1,5 м і масі 4 кг, на початку руху натяг троса пневмоциліндра становить 19,61 Н. Коли поточний кут

α становить $0,8\alpha$, початкового кута положення доїльного апарату, натяг троса знижується до 23,03 Н.

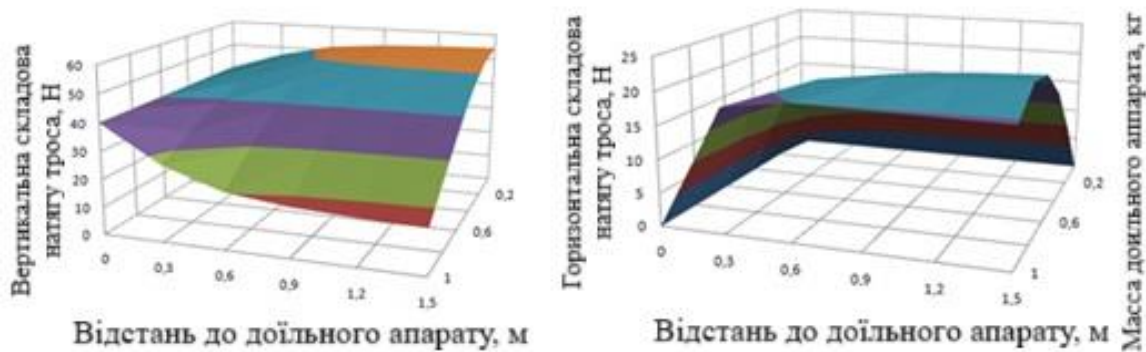


Рисунок 2.9 - Вертикальна (а.) і горизонтальна (б.) складова сили натягу троса пневмоциліндра в залежності від поточного кута положення і відстані (а) до доїльного апарату

Для стійкого стану технічних засобів, а в нашому випадку мобільного агрегату для доїння корів, геометричний центр тяжкості повинен знаходитися всередині горизонтально розташованого багатокутника, утвореного лініями, що послідовно з'єднують точки його опор. Для визначення положення центру тяжкості мобільного агрегату цілком можна скористатися теоремою Варіньйона, що свідчить про те, що момент рівнодіючої щодо осі системи координат дорівнює алгебраїчній сумі моментів сил досліджуваної системи щодо цієї ж осі:

$$M_x(F_\Sigma) = Gy_c = \sum_o^n q_k y_k; \quad y_c = \frac{\sum_o^n q_k y_k}{G}; \quad (2.26)$$

$$M_y(F_\Sigma) = Gx_c = \sum_o^n q_k x_k; \quad x_c = \frac{\sum_o^n q_k x_k}{G}; \quad (2.27)$$

де M_x - момент рівнодіє щодо осі x , Нм;

M_y - момент рівнодіє щодо осі y , Нм;

G – рівнодіюча діючих сил досліджуваної системи, Н;

x_c - координата центру тяжкості по осі x , м;

y_c - координата центру тяжіння по осі y м;

q_k - до-та сила, Н;

x_k – координата точки докладання до тієї сили по осі x , м;

y_k - координата точки докладання тієї сили по осі y , м.

Як показано на рисунку 2.10, початок координат розташуємо в точці першої опори агрегату.

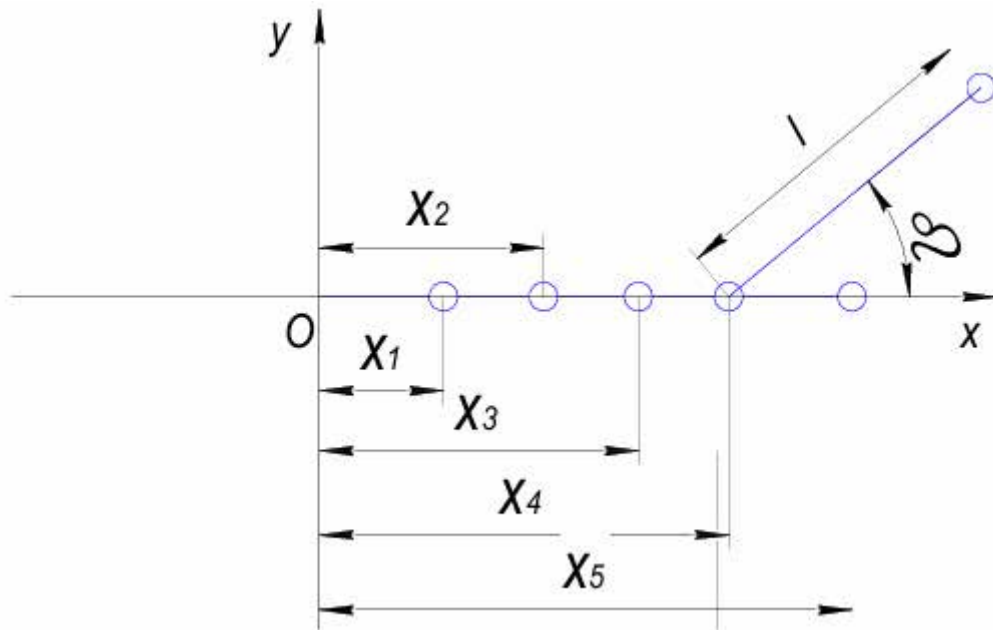


Рисунок 2.10 - До визначення положення центру ваги мобільного агрегату

З рисунка 2.10 випливає, що центр ваги змінює своє положення в залежності від кута установки поворотного важеля пневмоциліндра, через ролик якого проходить трос, що з'єднується зі встановленим на вимені корови доїльним апаратом.

$$Fx_c = F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left(x_4 + \frac{l_z}{2} \cos \beta \right) + F_{ty} (x_4 + l \cos \beta) \quad (2.37)$$

де $F = F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}$ - рівнодіюча ваги складових частин агрегату з урахуванням вертикальної складової сили F_t , що розвивається пневмоциліндром у момент зняття доїльного апарату з вимені корови, Н;

F_d - вага електродвигуна, Н;

F_v - вага вакуумної апаратури, Н;

F_a - вага платформи агрегату, Н;

F_c - вага пневмоциліндра, Н;

F_{dv} - вага доїльного відра, Н;

F_z - вага поворотного важеля, Н;

x_1 - координата центру ваги електродвигуна, м;

x_2 - координата центру ваги вакуумної апаратури, м;

x_3 - координата центру ваги платформи агрегату, м;

x_4 - координата центру тяжкості пневмоциліндра, м;

x_5 - координата центру тяжкості доїльного відра, м;

l_z - Довжина поворотного важеля, м. с.

$$Fy_c = F_z \frac{l_z}{2} \sin \beta + F_{ty} l_z \sin \beta \quad (2.29)$$

І тепер з отриманих рівнянь ми можемо висловити координати центру ваги агрегату з урахуванням вертикальної складової сили F_t , що розвивається

пневмоциліндром у момент зняття доїльного апарату з вимені корови для попередження дотику його до підлоги стійла тварини:

$$F_x_c = \frac{F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left(x_4 + \frac{l_z}{2} \cos \beta \right) + F_{ty} (x_4 + l \cos \beta)}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \quad (2.30)$$

$$y_c = \frac{F_z \frac{l_z}{2} \sin \beta + F_{ty} l_z \sin \beta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \quad (2.31)$$

Для горизонтального майданчика за умови, що вага електродвигуна $F_d = 54$ Н; вакуумної апаратури $F_v = 38$ Н; платформи агрегату $F_a = 250$ Н; пневмоциліндра $F_c = 30$ Н; доїльного відра $F_{dv} = 50$ Н; поворотного важеля $F_z = 10$ Н; а координата центру ваги електродвигуна $x_1 = 0,3$ м; вакуумної апаратури $x_2 = 0,15$ м; платформи агрегату $x_3 = 0,4$ м; пневмоциліндра $x_4 = 0,3$ м; доїльного відра $x_5 = 0,4$ м; довжина поворотного важеля $l_z = 0,1$ м, при вугіллі β , вугіллі повороту поворотного важеля, що дорівнює нулю, центр ваги агрегату знаходиться на відстані від початку координат 0,358-0,362 м (Рисунок 2.11).

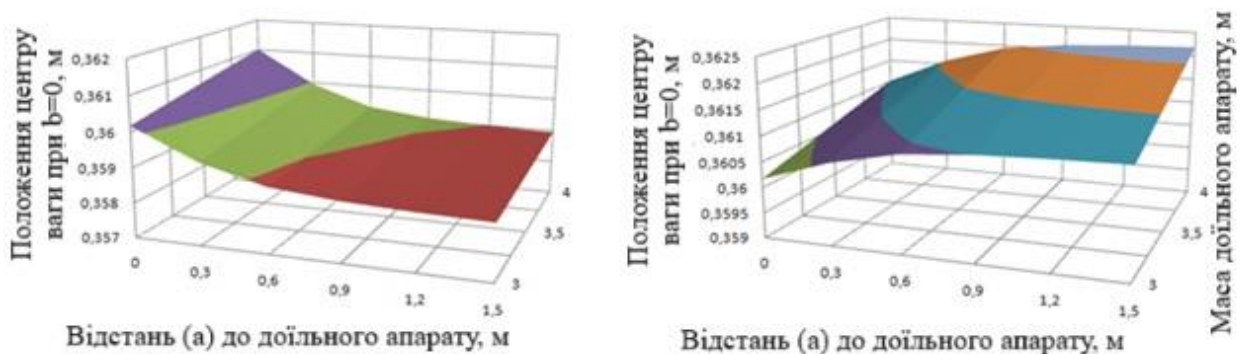


Рисунок 2.11 - Положення центру тяжкості агрегату x_c при знаходженні доїльного апарату в початковій точці траєкторії (а.), при $\alpha_t = \alpha$, та знаходженні в нижній точці (б.), при $\alpha_t = 0$, залежно від відстані (а) маси доїльного апарату

Причому, при знаходженні доїльного апарату в початковій точці траєкторії у міру збільшення кута його відхилення від вертикалі відстань центру ваги від початку координат зменшується, а при русі доїльного апарату в нижню точку траєкторії, навпаки, зростає.

2.2.4 Теоретичне визначення реакцій на опорах шасі мобільного агрегату для доїння корів

Визначити значення коефіцієнта $k_{уст}$ запасу стійкості мобільного агрегату для доїння корів можна, оцінюючи ступінь зміни навантаження на опори

агрегату під впливом перекидаючого моменту. Для визначення розподілу ваги агрегату по опорах шасі скористаємося теоремою Варіньона:

$$F(x_c + d_s) = x_A(F_{OA} + F_{OB}), \quad (2.32)$$

де F_{OA} та F_{OB} – реакції на опорах шасі А та В (колес) під впливом ваги агрегату з урахуванням вертикальної складової сили F_t , Н;

d_s – зміщення центру ваги агрегату при дії горизонтальної складової сили F_t , Н:

$$d_s = \frac{F_{tx}(s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 \pm s_4) \cos \gamma \cos \delta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}}. \quad (2.33)$$

При цьому слід врахувати, що за умови напрямку застосування опрокидуючої сили i , як наслідок, положення поворотного важеля, вздовж осі Х (кут $\beta=0$), реакції на опорах шасі F_{OA} і F_{OB} рівні між собою:

$$F_{OAO} = F_{OBO} = \frac{F(x_c + d_s)}{2x_A}, \quad (2.34)$$

де F_{OAO} і F_{OBO} - реакції на опорах шасі А і В за умови напрямку докладання перекидальної сили i , як наслідок, положення поворотного важеля, вздовж осі Х (кут $\beta=0$), Н.

Якщо має місце відхилення від осі Х напрямку дії перекидальної сили, так само як і положення поворотного важеля на кут β , реакції на опорах шасі F_{OA} і F_{OB} ми можемо визначити, вирішуючи систему рівнянь:

$$F_{OB} = \frac{F(x_c + d_s \cos \beta)(L_k - 2(y_c + d_s \sin \beta))}{2L_k x_A} \quad (2.35)$$

$$F_{OA} = \frac{F(x_c + d_s \cos \beta)(L_k + 2(y_c + d_s \sin \beta))}{2L_k x_A} \quad (2.36)$$

І тепер, знаючи реакції на опорах шасі F_{OA} та F_{OB} – ми можемо визначити реакцію на першій опорі:

$$F_{O1} = F - F_{OA} - F_{OB} \quad (2.37)$$

де F_{O1} - реакція на першій опорі, Н.

Або з урахуванням рівнянь (2.35) і (2.36)

$$F_{O1} = F \left(\frac{x_A - x_c - d_s \cos \beta}{x_A} \right) \quad (2.38)$$

де F_{O10} - реакція на першій опорі за умови направлення докладання опрокидуючої сили i , як наслідок, положення поворотного важеля, вздовж осі Х (кут = 0), Н.

Таким чином, наведеним вище математичним моделюванням процесу зняття доїльного апарату з молочної залози нами підтверджено гіпотезу про

зміну реакції на опорах шасі агрегату в точках О, А і В залежно від маси доїльного апарату, відстані a до доїльного апарату, а також кута напрямку дії опрокиди осі x (рівняння (2.74), (2.75) та (2.77)). Так, при знятті з вимені корови доїльного апарату масою 4 кг і зміні кута напрямку дії перекидаючого зусилля і положення поворотної ланки пневмоциліндра щодо осі x в інтервалі $0 \dots 3,14$ рад, при максимальному 68 початковому видаленні доїльного апарату $a=1,5$ м, 219,68 Н, а потім знижується до 160,07 Н (Рисунок 2.12), досягаючи максимального значення 290,71 Н при вугіллі $\beta=1,256$ рад.

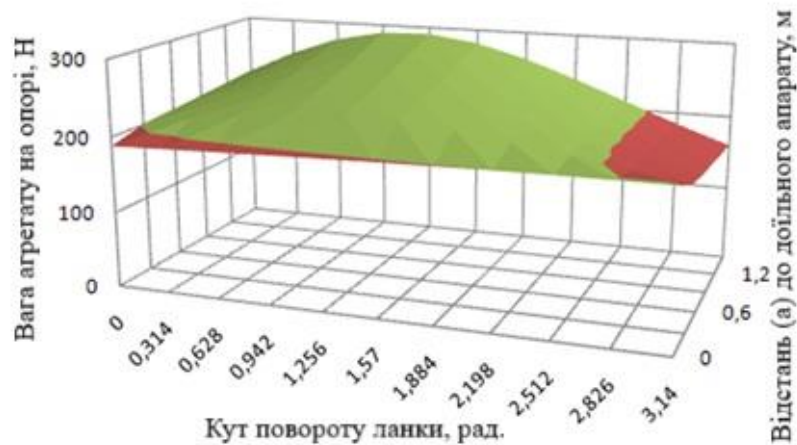


Рисунок 2.12 - Залежність реакції на опорі шасі А мобільного агрегату від відстані (a) до доїльного апарату і кута β напрямку дії перекидаючого зусилля

У той же час, синхронно з цим, як і слід очікувати, значною мірою, але в протилежному напрямку, змінюється реакція на опорі шасі агрегату. Спочатку її значення зменшується, починаючи з 219,68 Н, а потім збільшується до 148,76 Н, досягаючи мінімального значення 91,55 Н при вугіллі $\beta=1,884$ рад. Це наочно продемонстровано рисунку 2.18.

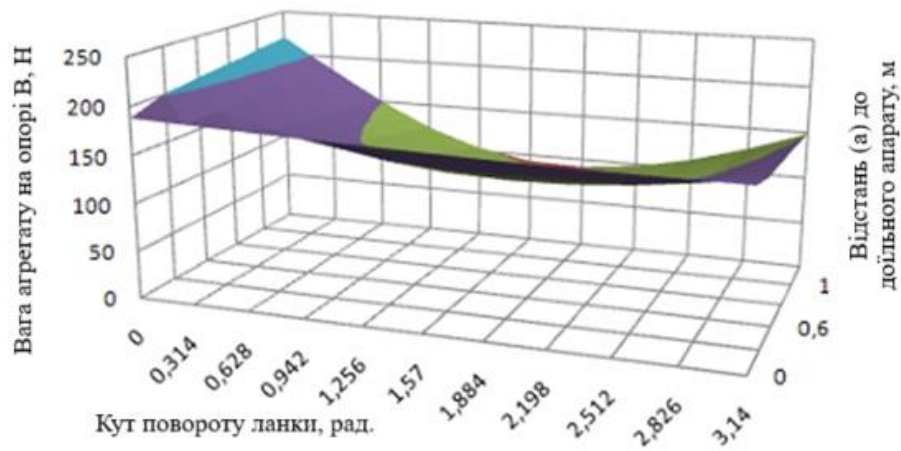


Рисунок 2.18 - Залежність реакції на опорі шасі В мобільного агрегату від відстані (a) до доїльного апарату і кута β напрямку дії перекидаючого зусилля

І, як наслідок, має місце зміна реакції на опорі шасі агрегату О у відповідь на варіювання кута напрямки дії перекидаючого зусилля та відстані (а) до доїльного апарату (Рисунок 2.19).

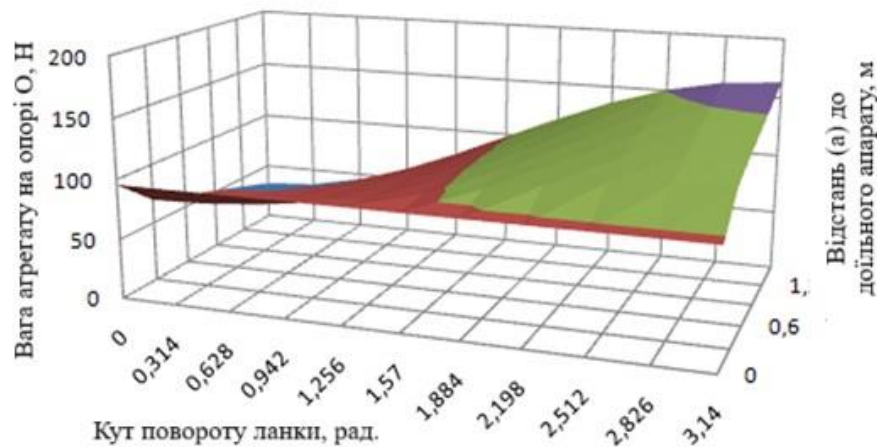


Рисунок 2.19 - Залежність реакції на опорі шасі О мобільного агрегату від відстані (а) до доїльного апарату і кута β напрямку дії перекидаючого зусилля

Як показують обчислення, незалежно від значення кута напрямки дії перекидаючого зусилля при відстані до доїльного апарату а рівному нулю, реакція на опорі Про шасі агрегату становить 95,73 Н, у той час як при видаленні доїльного апарату до 1,5 м при нульовому значенні β при $\beta=3,14$ рад. - 163,16 Н.

Виходячи з вищевикладених міркувань, тепер ми можемо визначити ті куце значення коефіцієнта $k_{уст}$ запасу стійкості мобільного агрегату для доїння корів. Він визначається виходячи з параметрів реакції на опорі, розташованої в протилежному напрямку щодо лінії перекидання від напрямку дії перекидаючого моменту $M_{опр}$. Наприклад, для визначення коефіцієнта $k_{уст}$ запасу стійкості при перекиданні агрегату щодо лінії ОА, рівняння має вигляд:

$$k_{уст} = \frac{F_{ОВО}}{F_{ОВО} - F_{ОВ}} \quad (2.39)$$

щодо лінії ОВ –

$$k_{уст} = \frac{F_{ОАО}}{F_{ОАО} - F_{ОА}} \quad (2.40)$$

щодо лінії АВ –

$$k_{уст} = \frac{F_{О1О}}{F_{О1О} - F_{О1}} \quad (2.41)$$

Як показують обчислення, виконані за рівнянням (2.80), коефіцієнт запасу стійкості, що оцінюється за реакцією на опорі В шасі агрегату, у міру зміни видалення доїльного апарату (а), а також кута напрямки дії перекидаючого зусилля, змінюється в широких межах: від 88,034, при 1,714 при $a=1,5$ та $\beta=1,844$ рад (Рисунок 2.20а.). При оцінці стійкості мобільного агрегату для доїння корів по реакції на опорі О шасі агрегату, встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості, що обчислюється, має мінімальне значення, що дорівнює 1,517, при

максимальному видаленні доїльного апарату, рівному 1,5 м і вугіллі β направлення дії 2.20б.). З наведених вище результатів обчислень коефіцієнта $k_{уст}$ запасу стійкості слід, що виконані теоретичні дослідження з обґрунтування положення опор О, А і В шасі мобільного агрегату, і отримані в результаті розрахунків конструктивні розміри шасі, вірні.

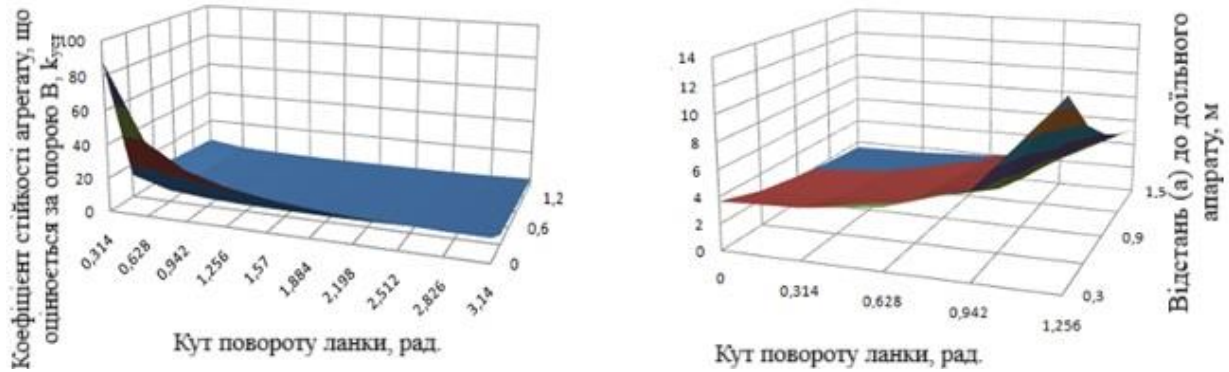


Рисунок 2.20 – Коефіцієнт стійкості мобільного агрегату для доїння корів, що оцінюється за реакцією опори шасі В (а) опори шасі О (б), залежно від відстані (а) до доїльного апарату та кута напрямки дії перекидаючого зусилля

Це підтверджується тим, що отримані в результаті розрахунків значення коефіцієнта $k_{уст}$ запасу стійкості вище його значення ($k_{уст} = 1,5$), закладеного в 71 розрахунки відстані x_a і x_b до лінії АВ опор А і В шасі агрегату, координат опор А і В, відстані L_k між колесами.

2.2.5. Теоретичне обґрунтування діаметра і вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови

Для виявлення основних конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра доїльного агрегату, при яких забезпечується необхідне зусилля впливу на доїльний апарат у процесі його зняття, розглянемо схему його роботи.

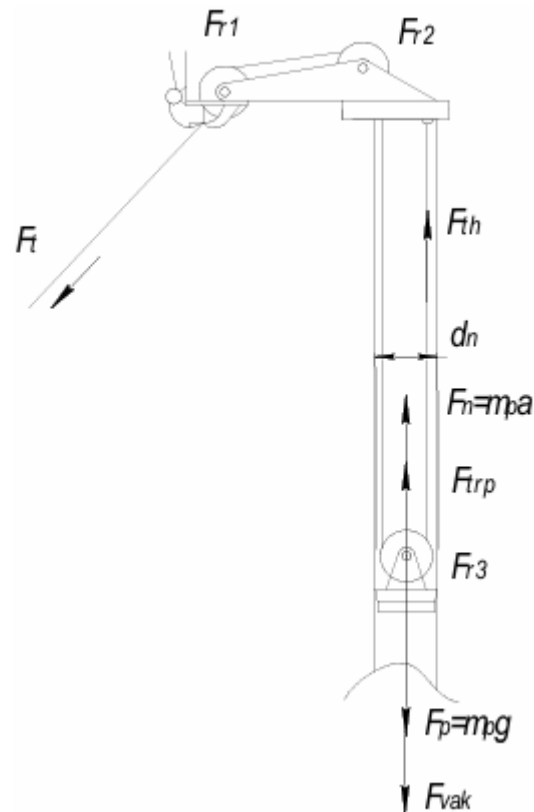


Рисунок 2.21 – до визначення основних конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра

Відповідно до другого закону Ньютона ми можемо записати:

$$F_{vak} + F_p - F_n - F_{trp} = F_{th} + F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}, \quad (2.42)$$

де F_{vak} – сила поршня, що формується за впливом вакуумметричного тиску P_{vak} , Н;

F_p – вага поршня, Н;

F_n – сила, що викликає прискорений рух поршня, Н;

F_{th} – сила натягу неодруженої гілки троса пневмоциліндра, Н;

F_{r1} – сила тертя ролика поворотної ланки, Н;

F_{r2} – сила тертя ролика поворотної ланки, Н;

F_{r3} – сила тертя ролика поршня, Н;

F_{trp} – сила тертя поршня про внутрішні стінки пневмоциліндра, Н;

А так як сила F_t натягу троса пневмоциліндра враховує динаміку до ільного апарату в процесі зняття його з вимені тварини, то зі схеми роботи пневмоциліндра слід, що натяг холостої гілки пневмоциліндра дорівнює натягу гілки, що керує положенням доїльного апарату в процесі зняття:

$$F_{th} = F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3} \quad (2.43)$$

У такому разі ми можемо записати:

$$F_{vak} + F_p - F_n - F_{trp} = 2(F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) \quad (2.44)$$

Силу F_{vak} , що формується на поршні за впливом вакуумметричного тиску P_{vak} , можна представити як:

$$F_{vak} = \pi \frac{d_n^2}{4} P_c \quad (2.45)$$

силу F_p – прискорений рух, що викликає, згідно з другим законом Ньютона поршня;

$$F_p = m_p a_p \quad (2.46)$$

де m_p – маса поршня, кг;

a_p – прискорення руху поршня, м/с²,

а вага поршня:

$$F_n = m_p g \quad (2.47)$$

Слід зазначити, що прискорення руху поршня – невідома величина. Очевидно, що прискорення залежить від часу і відстані переміщення поршня, при якому запобігає дотику доїльного апарату з підлогою стійла корови, що доїться. З рівняння випливає, що в міру зміни кута α_t у процесі руху доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії руху, коли $\alpha_t = 0$, зміна довжини l троса здійснюється на величину:

$$\Delta l = \frac{(l-b)(\alpha - \alpha_t)}{\alpha} \quad (2.48)$$

де Δl – величина зменшення довжини троса при переміщенні доїльного апарату з початкової точки траєкторії з кутом відхилення від вертикалі у точку з кутом відхилення α_t , м.

А оскільки переміщення поршня і довжина троса пов'язані між собою рівнянням (2.1), то ми можемо записати:

$$\Delta S_n \geq \frac{\Delta l}{2} \quad (2.49)$$

де ΔS_n – зсув поршня при переміщенні доїльного апарату з точки з кутом відхилення α в точку з кутом відхилення α_t , м.

Або з урахуванням рівняння:

$$\Delta S_n \geq \frac{(l-b)(\alpha - \alpha_t)}{2\alpha} \quad (2.50)$$

А оскільки ми розглядаємо рух доїльного апарату в процесі зняття з вимені корови як коливання математичного маятника, то час T руху доїльного апарату від точки відхилення від вертикалі до нижньої точки траєкторії становитиме одну четверту періоду коливань маятника довжиною нитки під вагою l :

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.51)$$

Але як ми зазначали, довжина нитки підвісу, у нашому випадку – довжина троса, величина змінна. У такому разі рівняння (2.50) набуває вигляду:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l - \frac{(l-b)(\alpha - \alpha_t)}{\alpha}}{g}} \quad (2.52)$$

З цього рівняння випливає, що зі зменшенням довжини троса підвісу доїльного апарату, час його руху з точки відхилення від вертикалі на кут до нижньої точки траєкторії при $\alpha=0$ буде зменшуватися. Приймавши схему покрокової зміни довжини троса підвісу доїльного апарату, а значить і покрокової зміни періоду коливань розглянутого нами маятника, ми можемо уявити рівняння для розрахунку часу руху доїльного апарату зі змінним радіусом переміщення з точки підвісу на виміні корови:

$$T = \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - \frac{(l-b)\left(\alpha - f\frac{a}{n}\right)}{\alpha}} = \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b)\left(\frac{f}{n}\right)} \quad (2.53)$$

де n - число кроків зміни довжини троса підвісу доїльного апарату;
 f - порядковий номер кроку.

Очевидно, що для підвищення точності розрахунку часу руху доїльного апарату число кроків має прагнути до нескінченності:

$$n \rightarrow \infty \quad (2.54)$$

Як показують попередні розрахунки (Рисунок 2.22), час руху доїльного апарату зі збільшенням видалення доїльного апарату від агрегату збільшується.

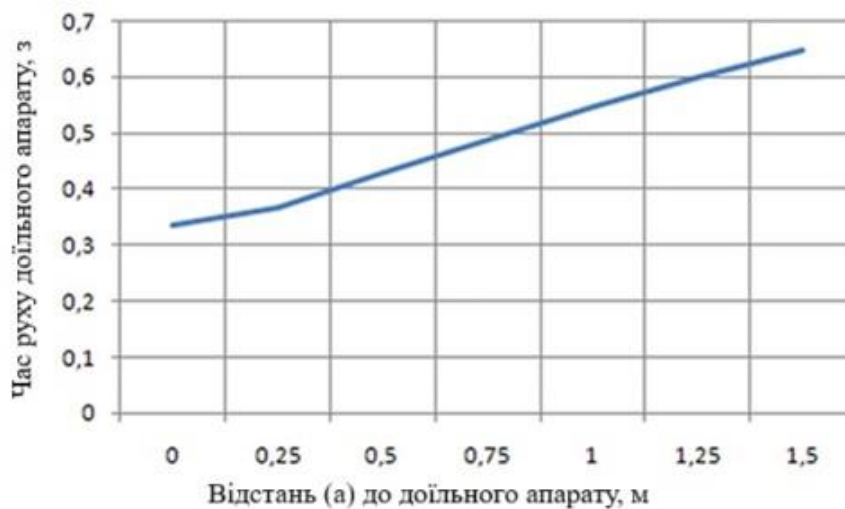


Рисунок 2.22 - Час переміщення доїльного апарату до нижньої точки траєкторії при $\alpha=0$ залежно від відстані (а) до доїльного апарату

Так, при віддаленні доїльного апарату 0,5 м час його переміщення в нижню точку траєкторії руху при $\alpha=0$ становить 0,428 с, тоді як при віддаленні 1,5 м – 0,648 с.

З опису роботи пневмоциліндра випливає, що за час T переміщення поршня має становити:

$$\Delta S_n = \frac{(l-b)}{2} \quad (2.55)$$

У такому разі, використовуючи відомий вираз взаємозв'язку прискорення та переміщення, ми можемо записати:

$$\Delta S_n = \frac{a_p T^2}{2} = \frac{(l-b)}{2} \quad (2.56)$$

Перетворивши рівняння (2.97), ми можемо визначити прискорення, яким повинен мати поршень пневмоциліндра:

(2.57)

Або з урахуванням рівняння (2.94):

$$a_p = \frac{(l-b)}{\left(\sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l-(l-b)\left(\frac{f}{n}\right)} \right)^2} \quad (2.58)$$

Тепер, підставивши в рівняння :

$$\pi \frac{d_n^2}{4} P_c - m_p \frac{(l-b)}{\left(\sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l-(l-b)\left(\frac{f}{n}\right)} \right)^2} + m_p g - F_{тр} = 2(mg(2 - \cos \alpha) + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3})$$

Як свідчить аналіз рівняння (2.101), графічна інтерпретація якого наведена на рисунку 2.23, для керованого віддаленої на 1,5 м, з попередженням його контакту з підлогою стійла корови в нижній точці його траєкторії руху, з збільшенням вакуумметричного тиску від 20,0 до 50,0 кПа діаметр пневмоциліндра можна зменшити з 0,084 до 0,06 м.

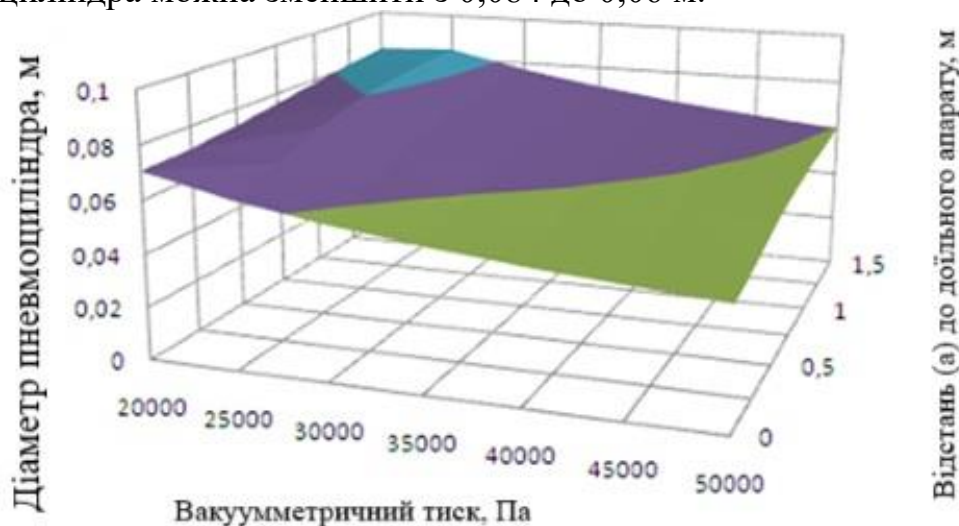


Рисунок 2.23 - Залежність діаметра пневмоциліндра від вакуумметричного тиску і відстані (а) до доїльного апарату

Слід зазначити, що час створення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра обмежений, і він лімітується часом руху доїльного апарату в процесі зняття з молочної залози корови. Але слід також відзначити необхідність встановлення в порожнині пневмоциліндра запобіжного

вакуумметричного тиску, що формує зусилля зняття доїльних склянок з сосків і утримання доїльного апарату на початку траєкторії руху, що задовольняє умову (2.60) і описується рівнянням (2.29).

Необхідна також попередня відкачування повітря з пневмоциліндра для забезпечення вибірки троса, вільний стан якого передбачалося нами введеним в рівняння (2.5) коефіцієнтом k подовження троса для ненатягнутого його стану при встановленні доїльного апарату на вим'я корови.

З урахуванням рівняння (2.1), при вибірці троса зменшення початкового об'єму пневмоциліндра відбувається на величину:

$$V_v = \frac{\pi d_n^2}{8} l(k-1) \quad (2.61)$$

де - V_v - величина зменшення об'єму пневмоциліндра при переміщенні поршня пневмоциліндра в процесі вибірки троса до натягнутого стану, м³.

Оскільки доїльний апарат зафіксований на вимені і тим самим утримує трос, а значить, і поршень від переміщення, подальше відсмоктування повітря 77 призводить до підвищення вакуумметричного тиску до значення, при якому здійснюється від'єднання доїльного апарату від вимені і створюється початкове зусилля утримання доїльного апарату. Для цього випадку рівняння (2.85) можна подати у вигляді:

$$F_{vak} + F_p - F_{vp} = 2(F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) \quad (2.62)$$

Оскільки вище нами обумовлено, що на початку траєкторії руху $F_t = mg \cos \alpha$, то з урахуванням рівнянь і ми можемо записати:

$$\pi \frac{d_n^2}{4} P_c + m_p g - F_{vp} = 2(mg \cos \alpha + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) \quad (2.63)$$

Звідси ми можемо визначити необхідний вакуумметричний тиск, при якому забезпечується необхідний натяг троса:

$$P_n = \frac{4 \left[2(mg \cos \alpha + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) - m_p g + F_{vp} \right]}{\pi d_n^2} \quad (2.64)$$

де P_n – початковий вакуумметричний тиск, у якому забезпечується зняття доїльного апарату з вимені корови, Па.

Подальше зростання вакуумметричного тиску в пневмоциліндрі супроводжується рухом доїльного апарату з одночасним зменшенням радіуса траєкторії руху за рахунок переміщення поршня пневмоциліндра і зменшення довжини троса підвісу доїльного апарату.

В результаті обсяг пневмоциліндра зменшується на величину, що дорівнює:

$$V_r = \frac{\pi d_n^2}{8} (l-b) \quad (2.65)$$

де V_r - величина зменшення обсягу пневмоциліндра при переміщенні поршня пневмоциліндра в процесі руху доїльного апарату з положення підвісу на вимені корови в нижню точку траєкторії, м³.

У такому разі залишковий об'єм пневмоциліндра складе:

$$V_o = \frac{\pi d_n^2}{4} S - \frac{\pi d_n^2}{8} l(k-1) - \frac{\pi d_n^2}{8} (l-b) = \frac{\pi d_n^2}{4} \left[S - \frac{1}{2}(lk-b) \right], \quad (2.66)$$

де V_o - залишковий обсяг пневмоциліндра, м³.

При цьому слід зауважити, що для створення необхідного вакуумметричного тиску з порожнини циліндра слід відкачати певну кількість повітря. І якщо на початковому етапі його кількість не мало значення, то на етапі 78 руху доїльного апарату в нижню точку траєкторії, коли здійснюється рух поршня і потрібно створення номінального вакуумметричного тиску для подолання сили натягу троса в нижній точці траєкторії руху доїльного апарату протягом обмеженого проміжку ϵ . важливим для забезпечення працездатності доїльного агрегату.

У початковий момент руху доїльного апарату після зняття з молочної залози, вакуумметричний тиск у порожнині циліндра дорівнює P_n , рівняння. У такому разі, використовуючи відомий закон, ми можемо записати:

$$\frac{V_r}{P_a} = \frac{U_n}{P_{an}} \quad (2.67)$$

де P_a - атмосферний тиск, Па;

U_n - залишковий обсяг повітря, м³;

P_{an} - вакуумметричний тиск P_n в абсолютній системі вимірювання Па.

Звідси повітря, що відкачується, в повному обсязі з ділянки руху поршня в процесі зняття доїльного апарату:

$$U_n = \frac{P_{an} V_r}{P_a} \quad (2.68)$$

Оскільки в решті порожнини пневмоциліндра вакуумметричний тиск має зрости від P_{an} до номінального, то ми можемо записати:

$$\frac{V_o}{P_a} = \frac{U_1}{P_{an}} \quad (2.69)$$

де U_1 - залишковий об'єм повітря при тиску P_{an} , м³,

а також:

$$\frac{V_o}{P_a} = \frac{U_2}{P_{anom}} \quad (2.70)$$

де U_2 - залишковий об'єм повітря при тиску P_{anom} м³.

P_{anom} – номінальний вакуумметричний тиск P_n в абсолютній системі вимірювання Па.

Звідси кількість повітря, що відкачується, для збільшення вакуумметричного тиску до номінального:

$$V_{ost} = V_1 - V_2 \quad (2.80)$$

Звідси, з урахуванням рівняння (2.109), повний об'єм повітря, що відкачується в процесі руху доїльного апарату з точки підвісу в нижню точку траєкторії за час T становить:

$$V_p = \frac{V_o}{P_a} (P_{an} - P_{anom}) + \frac{P_{an} V_r}{P_a} \quad (2.82)$$

У такому разі швидкість відкачування повітря дорівнюватиме:

$$Q_{ot} = \frac{1}{T} \left[\frac{V_o}{P_a} (P_{an} - P_{anom}) + \frac{P_{an} V_r}{P_a} \right] \quad (2.83)$$

Відоме рівняння, що характеризує витрату повітря під впливом перепаду тисків, включає такі конструктивні параметри, як діаметр і довжина повітряного каналу. Стосовно нашої нагоди, можемо записати:

$$Q_{ot} = \frac{\pi d_t^4}{128 \mu l_t} (P_t - P_{anom}), \quad (2.84)$$

де P_t - поточний тиск у порожнині пневмоциліндра, Па;

μ - динамічна в'язкість повітря;

l_t - Довжина патрубк, що з'єднує порожнину пневмоциліндра з джерелом вакуумметричного тиску, м;

d_t - діаметр патрубк, що з'єднує порожнину пневмоциліндра з джерелом вакуумметричного тиску м;

Але водночас швидкість зміни вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра можна характеризувати такою залежністю:

(2.85)

У такому випадку:

$$\partial t = \frac{128 \mu l_t V_o}{P_a \pi d_t^4 (P_t - P_{anom})} \partial P_t, \quad (2.86)$$

А проінтегрувавши дане рівняння в інтервалі від P_{an} до P_{anom} :

$$t = \int_{P_{anom}}^{P_{an}} \frac{128 \mu l_t V_o}{P_a \pi d_t^4 (P_t - P_{anom})} \partial P_t \quad (2.87)$$

ми можемо встановити час для формування в пневмоциліндрі номінального тиску:

$$t = \frac{128 \mu l_t V_o}{P_a \pi d_t^4} \ln \frac{(P_{an} - P_{anom})}{(P_t - P_{anom})} \quad (2.88)$$

де $P_t \rightarrow P_{anom}$.

Але час створення нормального тиску у пневмоциліндрі обумовлено рівнянням (2.94). У такому разі:

$$\sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b) \left(\frac{f}{n} \right)} = \frac{128 \mu l_t V_o}{P_a \pi d_t^4} \ln \frac{(P_{an} - P_{anom})}{(P_t - P_{anom})} \quad (2.89)$$

З рівнянь, при заданій довжині патрубк l_t , ми можемо визначити діаметр патрубк, при якому забезпечується задана швидкість відкачування повітря з пневмоциліндра:

$$d_t = \sqrt[4]{\frac{128\mu I_t V_o}{P_a \pi \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b)\left(\frac{k}{n}\right)}}} \ln \frac{(P_{an} - P_{anom})}{(P_t - P_{anom})} \quad (2.90)$$

а з урахуванням рівняння :

$$d_t = \sqrt[4]{\frac{32\mu I_t \pi d_n^2 \left[s - \frac{1}{2}(lk - b) \right]}{P_a \pi \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b)\left(\frac{f}{n}\right)}}} \ln \frac{(P_{an} - P_{anom})}{(P_t - P_{anom})} \quad (2.90)$$

З цього рівняння випливає (Рисунок 2.24), що зі збільшенням видалення доїльного апарату від агрегату, а також збільшенням довжини патрубку, що повідомляє порожнину пневмоциліндра з джерелом вакуумметричного тиску, діаметр отвору патрубка зростає.

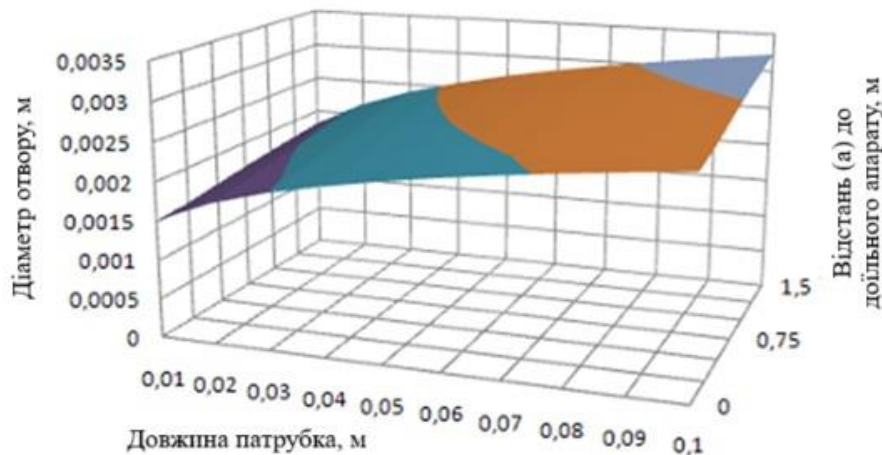


Рисунок 2.24 – Залежність діаметра отвору патрубка від відстані (а) до доїльного апарату та довжини патрубка

Так, при вакуумметричному тиску 30,0 кПа, видаленні доїльного апарату 0,75 м і довжині патрубка до 0,1 м, довжина патрубка до 0,1 м, мм.

Висновки по розділу

1. Як показують результати теоретичних досліджень, хід поршня пневмоциліндра зняття доїльного апарату залежить від відстані (а) від агрегату до доїльного апарату, встановленого на вимені, та конструктивних параметрів агрегату. Так для умови, що s_1 - відстань від платформи до поршня, при крайньому його нижньому положенні, дорівнює 0,1 м; s_2 - відхилення по висоті хвостовика щодо поршня, при крайньому верхньому його положенні, дорівнює 0,1 м; s_3 - відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату щодо платформи візка доїльного агрегату, що дорівнює 0,1 м; k - коефіцієнт подовження троса, дорівнює 1,2, при відстані від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика в горизонтальній площині

1,00 м – необхідний хід поршня пневмоциліндра становить 0,70 м, а при збільшенні відстані до 1,5 м.

2. З рівняння (2.29) випливає, що натяг троса в процесі руху до ільного апарату змінюється. Так, при використанні доїльного апарату масою 4 кг, при видаленні 1,5 м натяг троса становить 25,37 Н, в той час як при нульовому видаленні ($a = 0$) натяг становить 40 Н. У той же час при проходженні в процесі руху нижнього положення траєкторії відзначається збільшення натягу троса з збільшенням тяги. Воно зростає від 40 до 54,63 н.

3. Має місце нелінійний характер зростання натягу троса пневмоциліндра залежно від поточного кута положення доїльного апарату. Однак аналіз рівнянь (2.33) і (2.34) свідчить про те, що якщо вертикальна складова F_{ty} натягу троса F_t плавно зростає, то горизонтальна складова F_{tx} спочатку збільшується, а потім знижується до нуля в нижній точці траєкторії. Так, при видаленні доїльного апарату від агрегату 1,5 м і масі 4 кг, на початку руху натяг троса пневмоциліндра становить 19,61 Н. Коли α_t становить $0,8\alpha$, початкового кута положення доїльного апарату, натяг троса знижується до 23,03 Н. Потім воно.

4. Центр тяжкості доїльного агрегату змінює своє положення залежно від кута установки поворотного важеля пневмоциліндра, через ролики якого проходить трос, що з'єднується з встановленим на вимені корови доїльним апаратом. Для горизонтального майданчика за умови, що вага електродвигуна $F_d = 54$ Н; вакуумної апаратури $F_v = 38$ Н; платформи агрегату $F_a = 250$ Н; пневмоциліндра $F_c = 30$ Н; доїльного відра $F_{dv} = 50$ Н; поворотного важеля $F_z = 10$ Н; координата центру ваги електродвигуна $x_1 = 0,3$ м; вакуумної апаратури $x_2 = 0,15$ м; платформи агрегату $x_3 = 0,4$ м; пневмоциліндра $x_4 = 0,3$ м; доїльного відра $x_5 = 0,4$ м; довжина поворотного важеля $l_z = 0,1$ м, при вугіллі β , вугіллі повороту поворотного важеля, рівному нулю, центр тяжіння агрегату знаходиться на віддаленні від початку координат 0,358-0,362 м. Причому, при знаходженні доїльного апарату в початковій точці траєкторії у міру збільшення кута координат зменшується, а при русі доїльного апарату в нижню точку траєкторії навпаки росте.

5. Як свідчить аналіз рівняння (2.66), при видаленні доїльного апарату масою 3 кг 0,3 метра від агрегату, для його зняття з вимені корови вакуумметричний тиск у підсоскових камерах необхідно знизити нижче 12,7 кПа, у той час як при видаленні 1,5 м, достатньо знизити тиск. А ось при знятті доїльного апарату масою 4кг, вакуумметричний тиск у підсоскових камерах має бути не вищим за 17,2 і 23,9 кПа відповідно.

6. Для забезпечення стійкого положення мобільного агрегату з необхідним коефіцієнтом запасу стійкості $k_{устив}$, при обумовлених вище його конструктивних параметрах, при збільшенні маси доїльного апарату від 3 до 4 кг і відстані a від точки кріплення троса до доїльного апарату, встановленого на вим'я корови, до положення хвостів, до положення хвостів відстань від першої опори агрегату до лінії розташування опор А і В необхідно збільшити з 0,36 до 0,45 м. Також слід змістити в сторону віддалення від осі x опори А і В по осі $y_a=0,007$ м, $y_b=-0,30$

ув=-0,13 м. Наслідком цих змін є збільшення відстані L_k між точками опор А і В мобільного агрегату до 0,26 м (рівняння (2,69) при максимальній вазі та максимальному видаленні доїльного апарату від агрегату.

7. Математичним моделюванням процесу зняття доїльного апарату з молочної залози нами підтверджено гіпотезу про зміну реакції на опорах шасі агрегату в точках О, А і В залежно від маси доїльного апарату, відстані а до доїльного апарату, а також кута β напрямку дії перекидаючого зусилля осі х (рівняння (2.74), (2.75) та (2.77)). Так, при знятті з вимені корови доїльного апарату масою 4 кг і зміні кута напрямки дії перекидає зусилля і положення поворотної ланки пневмоциліндра щодо осі х в інтервалі $0 \dots 3,14$ рад, при максимальному початковому видаленні доїльного апарату $a = 1,5$ м, 219,68 Н, а потім знижується до 160,07 Н, досягаючи максимального значення 290,71 Н при вугіллі $\beta=1,256$ рад. У той же час, синхронно з цим, як і слід очікувати, значною мірою, але в протилежному напрямку, змінюється реакція на опорі В шасі агрегату. Спочатку її значення зменшується, починаючи з 219,68 Н, а потім збільшується до 148,76 Н досягаючи мінімального значення 91,55 Н при вугіллі $\beta=1,884$ рад. Як показують обчислення за рівнянням (2.77), незалежно від значення кута напрямки дії перекидаючого зусилля при відстані до доїльного апарату а рівному нулю, реакція на опорі О шасі агрегату становить 95,73 Н, в той час як при видаленні доїльного апарату до 1,5 м при ставить 32,63 Н, а при $\beta=1,57$ рад. - 97,84 Н.

8. Як показують обчислення, виконані за рівнянням (2.85), коефіцієнт запасу стійкості, що оцінюється за реакцією на опорі В шасі агрегату, у міру зміни видалення доїльного апарату (а), а також кута напрямки дії перекидаючого зусилля, змінюється в широких межах: від 8, від 8 радий, до 1,714 при $a=1,5$ та $\beta=1,844$ рад.

При оцінці стійкості мобільного агрегату для доїння корів по реакції на опорі Про шасі агрегату, встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості, що обчислюється за рівнянням (2.87), має мінімальне значення, що дорівнює 1,517, при максимальному видаленні доїльного апарату, рівному 1,5 м і вугіллі β напрямку дії . З наведених вище результатів обчислень коефіцієнта $k_{устів}$ запасу стійкості слід, що виконані теоретичні дослідження з обґрунтування положення опор О, А і В шасі мобільного агрегату, і отримані в результаті розрахунків конструктивні розміри шасі, вірні.

Це підтверджується тим, що отримані в результаті розрахунків значення коефіцієнта $k_{устів}$ запасу стійкості вище його значення ($k_{устів} = 1,5$), закладеного в розрахунки відстані x_a і x_b до лінії АВ опор А і В шасі агрегату, координат опор А і В, відстані L_k між колесами, виконані за рівняннями (6.6). (2.69).

9. Час руху доїльного апарату від точки підвісу на вимені корови в нижню точку траєкторії руху, при $\alpha_t=0$, у міру збільшення видалення доїльного апарату від агрегату збільшується. Так, при видаленні доїльного апарату 0,5 м час його переміщення в нижню точку траєкторії руху становить 0,428 с, у той час як при видаленні 1,5 м - 0,648 с.

10. Для керованого зняття доїльного апарату масою 4 кг з молочної, віддаленої на 1,5 м, з попередженням його контакту з підлогою стійла корови в нижній точці його траєкторії руху, зі збільшенням вакуумметричного тиску від 20,0 до 37.5 кПа діаметр с0000,000000, зменшити діаметр пневмоциліндра.

11. Зі збільшенням видалення доїльного апарату від агрегату, а також збільшенням довжини патрубку, що повідомляє порожнину пневмоциліндра з джерелом вакуумметричного тиску, діаметр отвору патрубка зростає. Так, при вакуумметричному тиску 30,0 кПа, видаленні доїльного апарату 0,75 м і довжині 85 патрубку 0,01 м мінімально допустимий діаметр отвору патрубка становить 1,67 мм, а при збільшенні видалення доїльного апарату до 1,5 м і довжини патрубку щонайменше 2,97 мм.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ

Відмінна особливість розробленого нами мобільного агрегату для доїння корів – поряд з елементами управління режимом доїння наявність механізму зняття доїльного апарату після завершення доїння корови, виконаного у вигляді вертикально встановленого пневмоциліндра. (Рисунок 3.1).

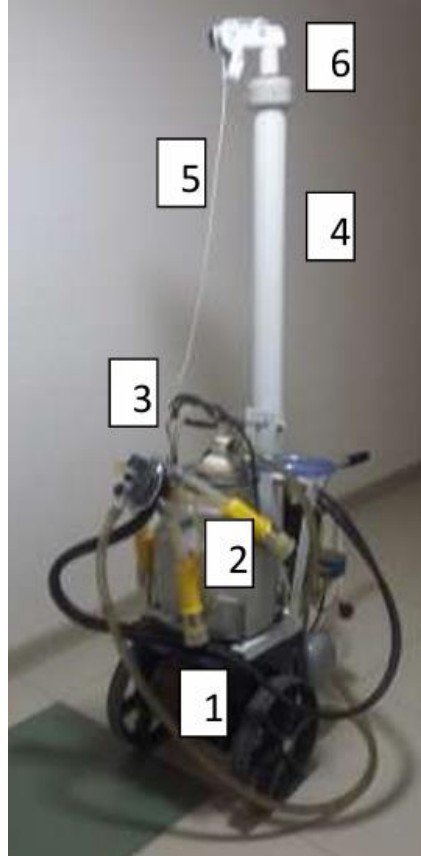


Рисунок 3.1 – Експериментальний мобільний агрегат для доїння корів
1 – шасі; 2 – доїльний апарат; 3 – датчик потоку молока; 4 - пневмоціліндр; 5 – трос; 6 – поворотний важіль.

До верхнього обрізу пневмоциліндра прикріплений поворотний важіль з обвідними роликami для троса, одним кінцем через обвідний ролик поршня прикріпленого до верхнього обрізу пневмоциліндра, а вільним – через обвідні ролики поворотного важеля з доїльним апаратом. Важливі етапи розробки агрегату для доїння корів – це обґрунтування конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра, при яких забезпечується керований рух доїльного апарату по заданій траєкторії, що виключає контакт доїльного апарату з підлогою стійла корови, а також обґрунтування конструктивних параметрів шасі з агрегатом. Математичним моделюванням протікаючих процесів виявлено залежності цих параметрів від сформованих вихідних даних.

Завдання експериментальних досліджень мобільного агрегату для доїння корів - перевірка теоретичних положень, сформованих у процесі вивчення

протікаючих робочих процесів; визначення низки фізичних величин; уточнення або визначення конструктивних та режимних параметрів його технічних складових. Програма експериментальних досліджень включає:

Перевіряє теоретичні положення зміни сили натягу троса в міру руху доїльного апарату по траєкторії, що визначається пневмоциліндром, а також відстанню від агрегату до точки підвісу доїльного апарату на вимені корови.

Перевірка теоретичних положень, що характеризують положення центру тяжкості агрегату.

Перевірка теоретичних положень, що характеризують положення опор агрегату, за яких забезпечується задана стійкість агрегату від перекидання.

Перевірка теоретичних положень взаємозв'язку видалення доїльного апарату від агрегату, напрямки дії моменту, що перекидає, і коефіцієнта стійкості мобільного агрегату від перекидання.

Перевірка теоретичних положень залежності зусилля, що розвивається пневмоциліндром від його діаметра і вакуумметричного тиску, що подається.

Перевіряє теоретичні положення залежності часу досягнення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра від діаметра і довжини патрубку, що повідомляє його порожнину з джерелом вакуумметричного тиску.

Як запропоновано програмою досліджень, користуючись описом розробленого мобільного агрегату для доїння корів, нами були підготовлені його окремі вузли, теоретичними дослідженнями робочих процесів яких ми займалися при обґрунтуванні їх конструктивно-режимних параметрів.

Для досліджень використовували оригінальні та типові методи та обладнання, що базується на тензометруванні досліджуваних механізмів. Вимірювання проводили з триразовою повторністю. Обробку та аналіз матеріалів досліджень здійснювали методами варіаційної статистики, кореляційного та регресійного аналізу з використанням програмного забезпечення.

3.1 Методика дослідження сили натягу троса пневмоциліндра при русі доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha_t=0$

Стенд для вимірювання сили натягу троса пневмоциліндра при русі доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha_t=0$ (Рисунок 3.2) включає кістяк 1, на якому встановлено вакуумний насос 2 з вакуумрегулятором 32 і вакуумметром 34, платформу 12 і пневмоциліндр 28 зняття доїльного апарату 12. Для фіксації доїльного апарату 12 у вихідному положенні на необхідному видаленні від пневмоциліндра 28 платформа 14 зі штучними сосками 13 прикріплена до кістяка 1 за допомогою повзуна 6 з хвостовиками 5. двоходовий електровентиль 3 з'єднаний з пневмоциліндром 28, еластичним молокопровідним шлангом 4 - з колектором 9 доїльного апарату 12 і далі з підсосковими камерами доїльних склянок 10, а також патрубком 29 з

пульсатором 27, який у свою чергу з'єднаний доїльних склянок 10. Пневмоциліндр 28 на основі 1 встановлений вертикально і до його верхнього обрізу прикріплений важіль 23 з обвідними роликками 20 і 22.

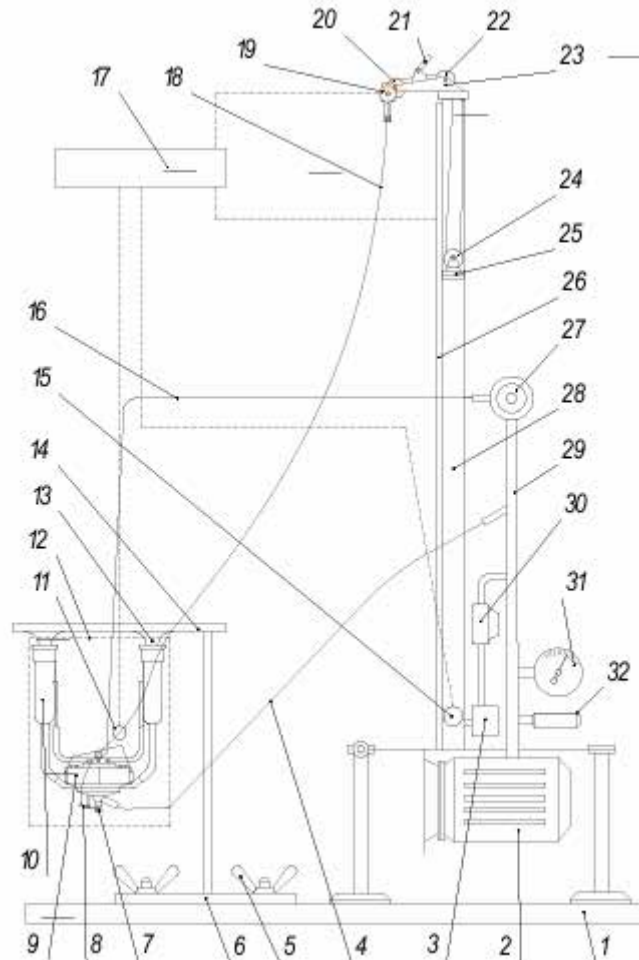


Рисунок 3.2 – Схема стенду для вимірювання сили натягу троса пневмоциліндра при русі доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha t=0$

1 - кістяк; 2 - вакуумний насос; 3 - двох ходовий електроventиль; 4 - молоко провідний шланг; 5 - хвостовик; 6 - повзун; 7 - клапан; 8 - важіль; 9 - колектор; 10 - доїльна склянка; 11 - силівимірювальний датчик; 12 - доїльний апарат; 13 - штучний зі сик; 14 - платформа; 15 - датчик тиску; 16 - осцилограф; 17 - комп'ютер; 18 - трос; 19 - датчик; 20, 22, 25 обвідний ролик; 23 - важіль; 21 - хвостовик; 26 - поршень; 24 - датчик; 27 - пульсатор; 28 - пневмоциліндр; 29 - патрубок; 30 - ventиль; 31 - вакуум метр; 32 - вакуум-регулятор

На поршні 26 пневмоциліндра 28 встановлений обвідний ролик 25, через який проходить трос 18, одним кінцем з'єднується з важелем 8, а іншим – з верхнім обрізом пневмоциліндра 28. Для реєстрації кута відхилення від вертикалі троса 18 в процесі дослідження траєкторії 13 важіль 23 забезпечений датчиком 19. Для вимірювання переміщення доїльного апарату 12 у вертикальній площині, пневмоциліндр 28 забезпечений датчиком 24 положення

поршня 26. Для реєстрації ва куумметричного тиску, що розвивається в пневмоциліндрі 28 в процесі руху 1 до 5 тиску 1 в 1 . тросі 18 встановлений силовимірвальний датчик 11. Датчики 19, 24, 15 та 11 з'єднані з реєстратором сигналів 17.

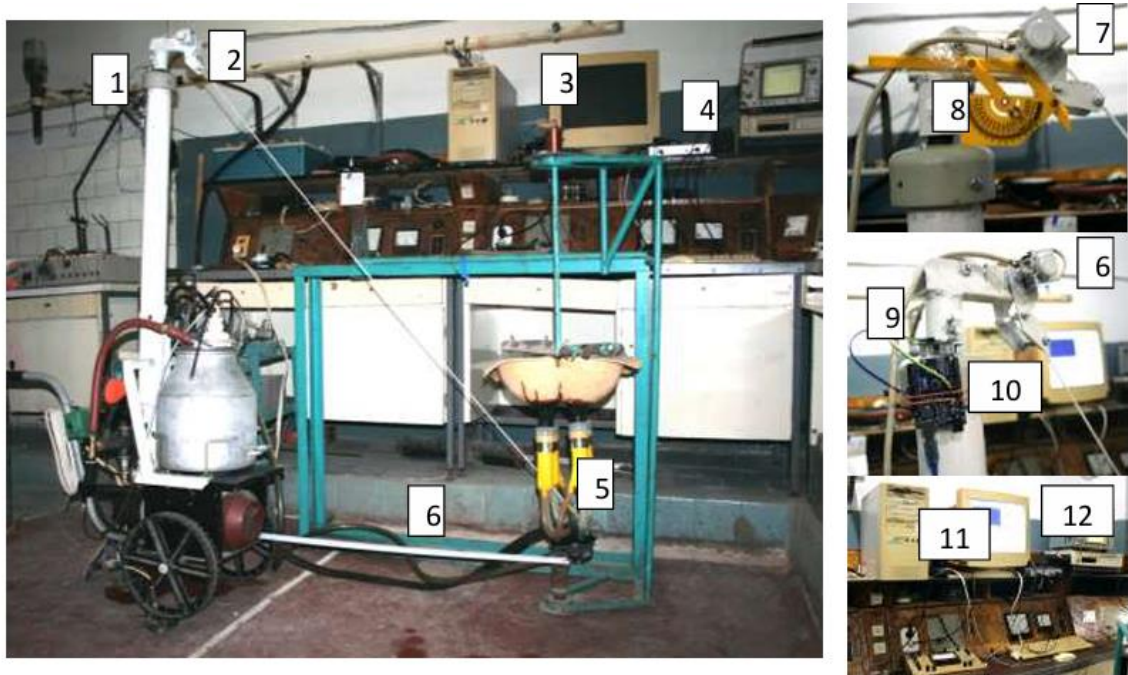


Рисунок 3.3 – Стенд для вимірювання сили натягу троса пневмоциліндра під час руху доїльного апарата з точки підвісу на вимені в нижній точці траєкторії

1 – датчик положення поршня у пневмоциліндрі; 2 – датчик кута відхилення троса від вертикалі; 3 – комп'ютер; 4 – осцилограф РС-500А; 5 – датчик зусилля, що розвивається у тросі; 6 – мірна лоїнейка; 7 - резистор R-24N1-A100K,L 15КС для реєстрації кута відхилення від вертикалі троса; 8 - кутомір транспортер KWB 0658-00; 9 – ультразвуковий датчик відстані HC-SR04; 10 - контролера Arduino UNO R3; 11 - комп'ютер; 12 - осцилограф.

Починали дослідження з калібрування силовимірвального датчика 12 натягу троса. Для цього датчик 12 навантажували еталонними гирями, змінюючи навантаження в інтервалі від 0 до 6,0 кг з кроком 0,2 кг. У цьому використовували гирі класу E1. Для калібрування датчика 19, в якості якого використовується змінний резистор R-24N1-A100K,L-15КС, і призначеного для реєстрації кута від клонування від вертикалі троса 18 в процесі дослідження траєкторії руху доїльного апарату 12, використовували кутомір-транспортер KWB 0658 1800+ 10'. Для цього трос 18 відхиляли від вертикалі, впливаючи пластину, встановлену на осі резистора, тим самим повертаючи його 91 ротор. При цьому кут відхилення контролювали кутоміром-транспортером KWB 0658-00. Трос відхиляли на кут від 0 до 900.

Реєстрацію сигналу, що надходить від датчика 19, здійснювали через кожні 50+ 10'. В якості датчика 24 положення поршня 26 в пневмоциліндрі 28

використовували датчик відстані ультразвуковий HC-SR04 підключається до контролера Arduino UNO R3, що налаштовується на аналоговий вихід сигналу. Контролер підключали до комп'ютера 17, попередньо встановивши програму управління контролером і потім узгодження скетч контролера Arduino UNO R3 і датчика HC-SR04. Для калібрування датчика 24 включали комп'ютер 17, підключали контролер Arduino UNO R3, запускали програму управління контролером і завантажували скетч узгодження контролера Arduino UNO R3 та датчика HC-SR04. У комп'ютері фіксували початкове свідчення.

Поршень 26 переміщали в пневмоциліндрі на відстань в межах 0...1,0 м з кроком 0,1 м, контролюючи переміщення мірною лінійкою з точністю +0,001 м, фіксуючи показання в комп'ютері 17 в кожній точці положення поршня 26. доїльних склянок 10 доїльного апарату 12 з прикріплених до платформи 14 штучних сосків 13 пневмоциліндром 28 (Рисунок 3.2)), здійснювали, змінюючи відстань від пневмоциліндра 28 агрегату до доїльного апарату 12. контролюючи переміщення повзуна 6 з платформ 14 по кістяку 1 мірною лінійкою з точністю +0,001 м.

Переміщуючи повзун 6 по кістяку 1 встановлювали на необхідному віддаленні від пневмоциліндра 28 і фіксували хвостовиками 10. Включали встановлений на кістяку 1 вакуумний насос 2. Вакуумрегулятором 32, контролюючи значення вакуумметричного тиску вакуумметром 31 8 . Потім, змінюючи прохідний переріз вентиля 30, встановлювали вакуумметричний тиск, що забезпечує задану траєкторію руху.

Для цього ультразвуковим датчиком 24 HC-SR04 контролювали переміщення поршня 26 протягом часу руху доїльного апарату з точки підвісу в нижню точку траєкторії, що відповідає видаленню 92 доїльного апарату від агрегату. За допомогою двоходового електроventилу 3 пневмоциліндр 28 повідомляли з атмосферою. Вакуумметричний тиск від вакуумного насоса 2 надходило до двоходового електроventилу 3, по еластичному молокопровідному шлангу 4 до закритого клапана 7 колектора 9 доїльного апарату 12, а також по патрубку 29 в пульсатор 27, звідки вже пульсуючий вакуум 9 і далі в міжстінні камери доїльних склянок 10.

Утримуючи руками доїльний апарат 12 хвостовиком 21 звільняли трос 18. одночасно, обкочуючись по обвідному ролику 25, переміщуючи поршень 26 вгору, у вихідне положення. Відкривали клапан 7. В результаті вакуумметричний тиск надходив у колектор 9 доїльного апарату 12 і далі в підсоскові камери доїльних склянок 10. Доїльні склянки 10 встановлювали на штучні соски 13 платформи 14, тим самим фіксувавши доїльний апарат 12 у вихідному. Включали реєстратор сигналу 17. Стенд підготовлений до вимірювання параметрів траєкторії руху доїльного апарату 12 після зняття його з штучних сосків 6. Потім за допомогою двоходового електроventилу 3 пневмоциліндр 28 з спілкували з вакуумним насосом 2.

При цьому поршень 26 за допомогою обводного ролика 8 і 5 створюючи зусилля зняття та переміщення доїльного апарату 12 у вертикальній площині.

При цьому трос 18, обкочуючись по обвідних роликах 20 і 22 важеля 23, натягуючись і взаємодіючи з датчиком 19 реєстрації кута відхилення від вертикалі троса 18, впливав на важіль 8, встановлений на колекторі 9, який протилежний кінцем 12 від вакуумного насоса 2 і знімаючи його з штучних сосків 13.

Починалося рух доїльного апарату 12 під впливом земного тяжіння і зусилля, що розвивається пневмоциліндром 28. При цьому сигнали, що формуються датчиком 19 реєстрації кута відхилення від вертикалі троса 2 пневмоциліндрі 28, а також силовимірювальним датчиком 11 зусилля, що розвивається в тросі 18, фіксував у часовому інтервалі комп'ютер 17.

Отримані дані використовували при графічному відображенні, математичному описі траєкторії руху доїльного апарату, а також обґрунтуванні конструктивно-режимних параметрів пневмоциліндра зняття доїльного апарату. Отримані результати піддавали математичної обробки.

3.2 Методика дослідження положення центру ваги мобільного агрегату для доїння корів

Для дослідження положення центру тяжкості мобільного агрегату для доїння корів в залежності від видалення (а) доїльного апарату в початковий момент його руху, а також зміни кута β повороту поворотного важеля пневмоциліндра при зміні напрямку дії перекидального моменту, нами розроблений стенд з використанням тензометричних силових елементів, впливом статичного навантаження, що варіює, на опори агрегату (Рисунок 3.4.), (Рисунок 3.5.).

Стенд для визначення положення центру ваги мобільного агрегату для доїння корів залежно від видалення (а) доїльного апарату в початковий момент його руху, а також його зміщення в процесі руху доїльного апарату з точки підвісу в нижню точку траєкторії при $\alpha=0$, (рисунок 3.4) включає 6 15 і вакуумметром 14, доїльне відро 4 і пневмоциліндр 13 зняття доїльного апарату. Під колеса 3 і опору 17 мобільного агрегату встановлювали силозмірювальні тензометричні датчики 1 і 2, що з'єднуються з осцилографом 5 РС 500А, у свою чергу з'єднується з комп'ютером 6 і призначені для вимірювання і реєстрації реакції на опорах шасі агрегату, що виникає по дії відповідну опору 94 ру (колесо), а також додаткових сил, що виникають в русі доїльного апарату в процесі його зняття з вимені корови.

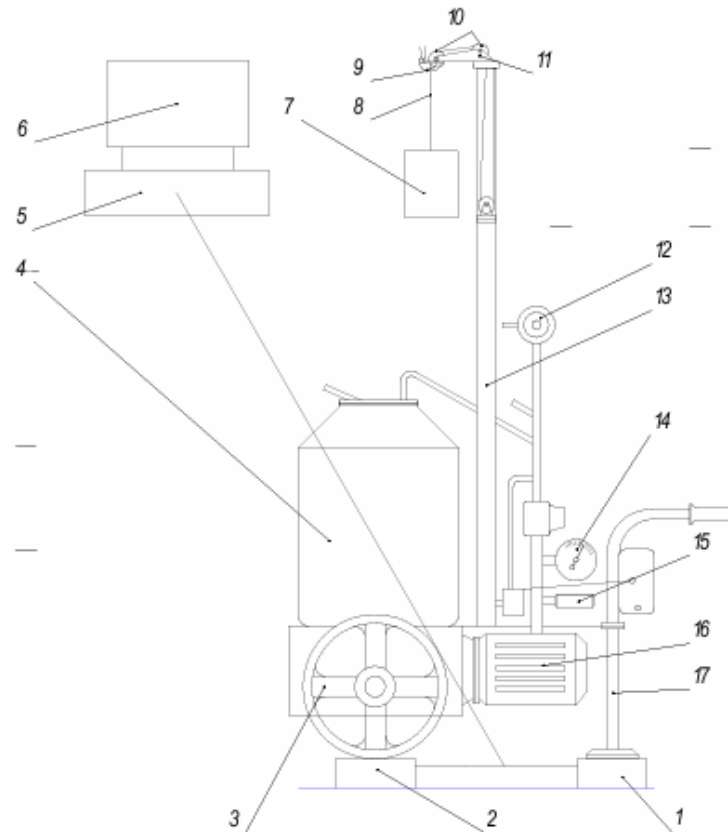


Рисунок 3.4 – Схема стану визначення положення центру тяжкості мобільного агрегату

1, 2 – тензOMETричний датчик; 3 – колесо; 4 – доїльне відро; 5 - осцилограф РС-500А; 6 – комп'ютер; 7 – імітатор ваги доїльного апарату; 8 – трос; 9 – хвостовик; 10 - обвідний ролик; 11 – датчик кута повороту поворотного важеля; 12 - пульсатор; 13 - пневмоциліндр; 14 - вакуумметр; 15 - вакуумрегулятор; 16 - вакуумнасос; 17 – опора.

А до поворотного важеля прикріплений датчик 11 кута повороту для визначення напрямку застосування перекидальної сили в процесі зняття доїльного апарату. Починали дослідження з калібрування силовимірювальних датчиків 1 і 2, призначених для вимірювання та реєстрації частки ваги мобільного агрегату, що припадає на відповідну опору (колесо). Для цього датчики 1 і 2 по черзі навантажували еталонними гирями, змінюючи навантаження в інтервалі від 0 до 20 кг з кроком 1 кг. У цьому використовували гирі класу Е1.



Рисунок 3.5 – Стенд визначення положення центру тяжкості мобільного агрегату

1, 2 – силовимірювальний датчик; 3 – датчик кута повороту поворотного важеля; 4 – платформа вантажу для імітації ваги доїльного апарату.

Для калібрування датчика 11, як який використовується змінний резистор R-24N1-A100K,L-15KC, і призначеного для реєстрації кута поворота поворотного важеля, використовували кутомір-транспорт KWB 0658-00 з інтервалом вимірювань кута $0 - 1800 \pm 10$. Для цього включали осцилограф РС 500А 16 і комп'ютер 17, а датчик 19 підключали до джерела живлення, встановлюючи напругу живлення $6 \pm 0,01$ В.

Початковий кут наряду дії, що дорівнює 0, встановлювали щодо осі симетрії агрегату. При цьому кут повороту контролювали кутомір-транспорт KWB 0658-00. Поворотний важіль повертали на кут від 0 до 1800. Реєстрацію сигналу, що надходить від датчика 11, здійснювали через кожні $50 \pm 10'$. Дослідження з визначення положення центру ваги мобільного доїльного агрегату проводили, імітуючи дію на агрегат вертикальної складової F_y ваги доїльного апарату, що відповідає заданій відстані (а) від точки підвісу доїльного апарату до точки положення хвостовика 9 троса 8 на пневмоциліндр. Для цього поворотний важіль пневмоциліндра 13 з обвідними роликками 10 встановлювали вздовж осі X (вздовж осі симетрії агрегату) (кут $\beta=0$), а замість доїльного апарату до троса 8 пневмоциліндра 13 підвішували імітатор 7 вертикальної складової F_y ваги доїльного Е1.

При цьому навантаження поступово збільшували в інтервалі $0 \dots 4,0$ кг з кроком $0,5 \pm 0,0001$ кг, реєструючи в комп'ютері 6 надходять до осцилографа 5 РС-500А сигнали від силовимірювальних тензометричних датчиків 1 і 2, тим

самим встановлюючи реакцію на відповідність. Потім, в процесі подальших досліджень змінювали з кроком $200 + 10'$ в інтервалі $0 - 1800 + 10'$ кут установки відносно осі X поворотного важеля пневмоциліндра 13 з обвідними роликками 10, фіксує його в новому положенні і контролює кут повороту датчиком реакції на опорах шасі мобільного агрегату.

Координату x_c - координату центру ваги агрегату по осі X визначали в програмі Excel, використовуючи рівняння:

$$x_c = \frac{(F_{OA} + F_{OB})}{F_{OA} + F_{OB} + F_{O1}} \quad (3.1)$$

а координату y_c - координату центру ваги агрегату по осі Y - використовуючи рівняння:

$$y_c = \frac{L_k (F_{OA} - F_{OB})}{2(F_{OA} + F_{OB})} \quad (3.2)$$

Отримані дані використовували при графічному відображенні, математичному описі процесу зміни положення центру ваги в процесі зняття доїльного апарату з вимені корови, а також обґрунтуванні конструктивно-режимних параметрів шасі мобільного агрегату для доїння корів. Отримані результати піддавали математичній обробці.

3.3 Методика дослідження стійкості від перекидання мобільного агрегату для доїння корів

Дослідження стійкості від перекидання мобільного агрегату для доїння корів здійснювали реєструючи реакції на опорах агрегату, що змінюються в залежності від видалення (а) доїльного апарату в початковий момент і по траєкторії його руху, а також зміни кута повороту поворотного важеля пневмоциліндра при зміні напрямку дії перекидаючого.

Для цього нами розроблено стенд з використанням силових тензометричних елементів (Рисунок 3.6.), (Рисунок 3.7.). Стенд включає остов 4, на якому встановлений вакуумний насос 30 з вакуумрегуляторами 26 і 27, і вакуумметрами 25 і 28, платформу 9 з штучними сосками 8, доїльний апарат 7 і пневмоциліндр 24 зняття доїльного апарату 7 для фіксації доїльного апарату 7. Для фіксації видаленні від пневмоциліндра 24 платформа 9 зі штучними сосками 8 хвостовиками 5 прикріплена до рухомої плити 6. Вакуумний насос 30 через вакуумрегулятор 27 і далі двоходовий електровентиль 29 з'єднаний з пневмоциліндром 24, а через вакуумрегулятор 21 ела 1 апарату 7 і далі з підсосковими камерами доїльних склянок 10, а також з пульсатором 23, який у свою чергу з'єднаний з колектором і далі з міжстінними камерами доїльних склянок 10. Пневмоциліндр 24 на остові 4 встановлений вертикально і до його верхнього обрізу 1 і 19. Для зняття доїльного апарату з штучних сосків 8 до доїльного апарату 7 приєднаний трос 12 пневмоциліндра 24.

Для реєстрації поточного кута відхилення від вертикалі троса 12 в процесі руху доїльного апарату 7 при знятті зі штучних сосків 8 змінний резистор R-24N1-A100K,L-15KC, що з'єднується з осцилографом 13 РС 500А та комп'ютером 14.

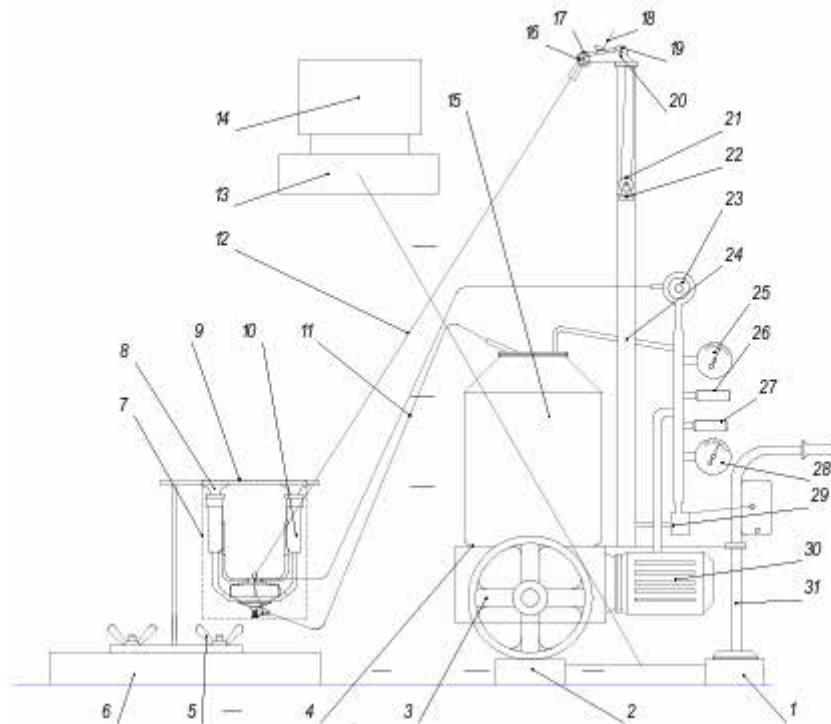


Рисунок 3.6 – Схема стенду визначення реакцій на опорах мобільного агрегату доїння корів

1, 2 – тензометричний датчик; 3 – колесо; 4 - кістяк; 5 – хвостовик; 6 – плита; 7 – доїльний апарат; 8 – штучний сосок; 9 – платформа; 10 – доїльна склянка; 11 – молокопровідний шланг; 12 – трос; 13 - осцилограф РС-500А; 14 – комп'ютер; 15 - доїльне відро; 16 – датчик; 17, 19, 21 - обвідний ролик; 18 – хвостовик; 20 – поворотний важіль; 22-поршень; 23 - пульсатор; 24 - пневмоциліндр; 25, 28 - вакуумметр; 26, 27 - вакуумрегулятор; 29 – двоходовий електровентиль; 30 - вакуумнасос; 31 – опора.

Під колеса 3 і опору 31 мобільного агрегату встановлювали силозмірювальні тензометричні датчики 1 і 2, що з'єднуються з осцилографом 1 відповідну опору (колесо), а також додаткових сил, що виникають під час руху доїльного апарату в процесі його зняття з вимені корови.

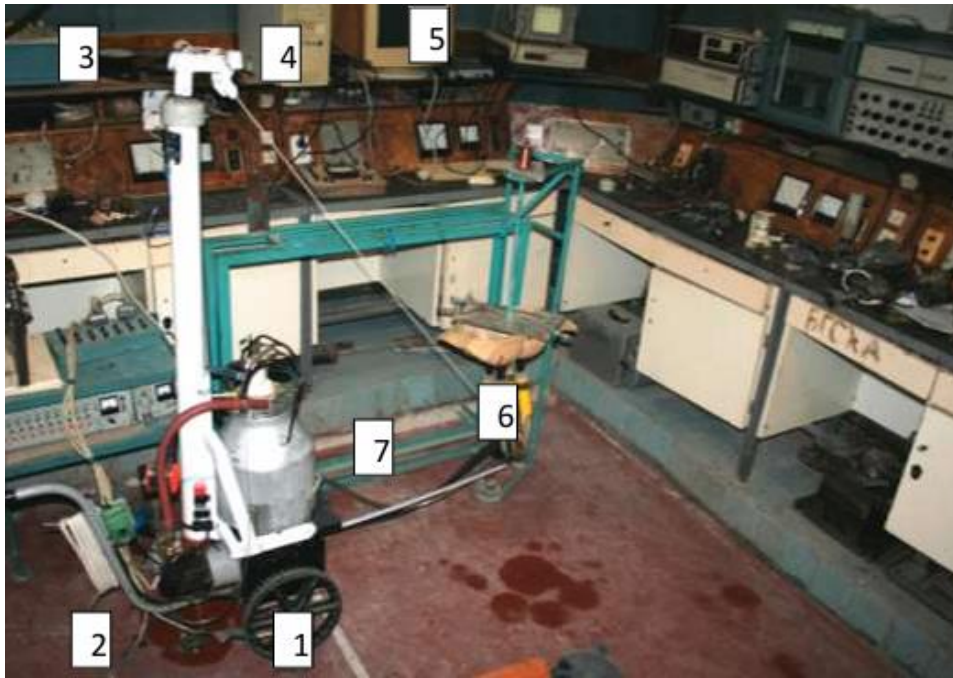


Рисунок 3.7 – Стенд визначення реакцій на опорах мобільного агрегату доїння корів

1, 2 – силовимірювальний датчик; 3 – поворотний важіль; 4 – комп'ютер;
5 – осцилограф; 7 доїльний апарат; 8 – мірна лінійка.

Починали дослідження з калібрування силовимірювальних датчиків 1 і 2, призначених для вимірювання та реєстрації частки ваги мобільного агрегату, що припадає на відповідну опору (колесо). Для цього датчики 1 і 2 по чергово навантажували еталонними гирями класу E1, змінюючи навантаження в інтервалі від 0 до 20,0 кг з кроком 1,0 кг, одночасно реєструючи показання осцилографа 13 РС-500А в комп'ютері 14.

Для калібрування датчика 16 R-24N1-A100K,L-15КС, та призначеного для реєстрації кута від клоніння від вертикалі троса 12 у процесі руху доїльного апарату 7, використовували кутомір-транспортир КWB 0658-00 з інтервалом вимірювань кута $0 - 1800 \pm 10'$.

Для цього трос 12 відхиляли від вертикалі, впливаючи пластину, встановлену на осі резистора, тим самим повертаючи його ротор. При цьому кут відхилення контролювали кутоміром-транспортиром КWB 0658-00. Трос від клоняли на кут від 0 до 900. Реєстрацію сигналу, що надходить від датчика 16, здійснювали через кожні $50 10'$.

Дослідження щодо визначення реакції на опорах мінливих залежно від видалення (а) доїльного апарату в початковий момент і по траєкторії його руху, а також зміни кута повороту поворотного важеля пневмоциліндра при зміні напрямку дії перекидаючого моменту проводили наступним чином. Розфіксувавши хвостовик 18 висували трос 12 пневмоциліндра 24 на величину, що відповідає видаленню доїльного апарату 7 від пневмоциліндра 24 на відстань 1,5 м і фіксували його.

Включали вакуум насос 30 і за допомогою вакуумрегулятора 26 встановлювали вакуумметричний тиск, контролюючи його вакуумметром 25, рівний 23,9 кПа, що визначається за рівнянням (2.66) і відповідне необхідному значенню при знятті доїльного апарату з штучних сосків 8 при видаленні до 10 з видалення до. вакуумметричний тиск надходив доїльне відро 15, і далі по молокопровідному шлангу 11 в колектор доїльного апарату 7, звідки надходило в підсоскові камери доїльних 10. Одночасно вакуумметричний тиск надходило до пульсатора 23 і далі через колектор доїльного апарату 7 міжстінні камери доїльних склянок 10. Доїльні склянки 10 встановлювали на штучні соски 8 платформи 9, тим самим зафіксувавши доїльний апарат 7 у вихідному положенні.

Переміщуючи плиту 6 орієнтували доїльний апарат 7, розташовуючи його на осі агрегату X і потім, видаляючи плиту 6 від агрегату натягували трос 12, тим самим орієнтуючи поворотний важіль 20 вздовж осі X (вздовж осі симетрії агрегату) (кут $\beta=0$). Вакуумрегулятором 27 встановлювали заданий вакуумметричний тиск, наприклад 48 кПа, контролюючи його значення вакуумметром 28, яке надходило до двоходового електроventилу 29. Включали осцилограф 13 РС-500А, комп'ютер 14, і підключали датчики 1, 2 і 2. Стенд підготовлений до вимірювання реакцій на опорах мобільного агрегату, а також кута положення доїльного апарату 7 траєкторії руху в процесі зняття зі штучних сосків 8.

Для визначення коефіцієнта кут запасу стійкості при перекиданні агрегату щодо лінії ОА, використовували рівняння:

$$k_{ycm} = \frac{F_{OBO}}{F_{OBO} - F_{OB}} \quad (3.3)$$

щодо лінії ВВ –

$$k_{ycm} = \frac{F_{OAO}}{F_{OAO} - F_{OA}} \quad (3.4)$$

щодо лінії АВ –

$$k_{ycm} = \frac{F_{O1O}}{F_{O1O} - F_{O1}} \quad (3.5)$$

Отримані дані використовували при графічному відображенні, математичному описі процесу зміни реакції на опорах шасі мобільного агрегату в залежності від поточного кута відхилення від вертикалі троса 12 в процесі руху доїльного апарату 7 і напрямки дії перекидального моменту, а також при графічному відображенні коефіцієнта відпрацьовування. Отримані результати піддавали математичної обробки.

3.4 Методика дослідження сили, що розвивається на тросі пневмоциліндром, залежно від його діаметра і вакуумметричного тиску

З теоретичних досліджень роботи мобільного агрегату для доїння корів впливає, що на силу, що розвивається пневмоциліндром, впливають як диметр

пневмоциліндра, так і вакуумметричний тиск, що подається в пневмоциліндр. У такому разі, фактори, що впливають на критерій оптимізації – вакуумметричний тиск та діаметр пневмоциліндра. З попередніх теоретичних досліджень впливають мінімальні та максимальні значення обраних факторів, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактори, що впливають на параметр оптимізації

ПОЗНАЧЕННЯ	НАЗВА ФАКТОРУ	РІВНІ ВАРІАЦІЇ		
		-1	0	+1
x_1	Діаметр пневмоциліндру, м	0,05	0,06	0,07
x_2	Вакуумметричний тиск, кПа	20,0	35,0	50,0

Як параметр оптимізації встановлювали зусилля на тросі, що розвивається пневмоциліндром. 103 В основу досліджень було покладено факторний експеримент (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Матриця планування факторного експерименту

№ досвіду	ФАКТОРИ ТА ЇХ ПОДІБНІСТЬ					
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2
1	+	+	+	+	0,3333	0,3333
2	+	+	-	-	0,3333	0,3333
3	+	-	+	-	0,3333	0,3333
4	+	-	-	+	0,3333	0,3333
5	+	0	0	0	-0,6666	-0,6666
6	+	+	0	0	0,3333	-0,6666
7	+	-	0	0	0,3333	-0,6666
8	+	0	+	0	-0,6666	0,3333
9	+	0	-	0	-0,6666	0,3333

Вимірювання та реєстрацію вакуумметричного тиску в пневмоциліндрі, а також зусилля в тросі здійснювали, встановлюючи пневмоциліндри відповідного діаметра і змінюючи вакуумметричний тиск у пневмоциліндрі 1 відповідно до матриці планування експерименту (Таблиця 3.1).

Для встановлення закономірності зміни сили на тросі, що розвивається пневмоциліндром залежно від його діаметра, а також вакуумметричного тиску, що подається в пневмоциліндр, ми використовували розроблений нами тензометричний стенд, що дозволяє реєструвати параметр (рисунок 3.8, 3.9).

Стенд для вимірювання сили, що розвивається пневмоциліндром на тросі, включає остов 1, на якому встановлений вакуумний насос 18 з вакуумрегулятором 17 і вакуумметром 15 і пневмоциліндр 14 зняття доїльного апарату. Вакуумний насос 18 через триходовий вентиль 16 з'єднаний з

пневмоциліндром 14. Пневмоциліндр 14 на остві 1 встановлений вертикально і до його верхнього обрізу при кріпленій важіль 11 з обвідними роликками 8 і 10.

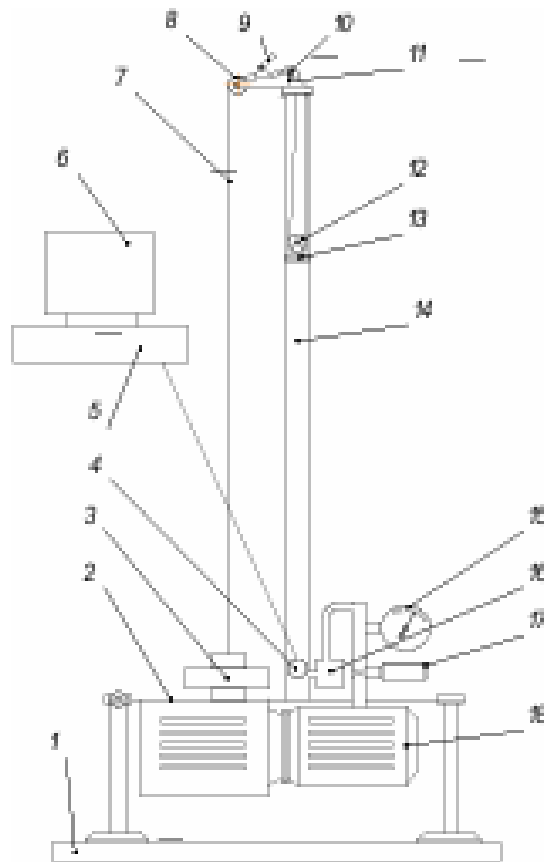


Рисунок 3.8 – Схема стану для вимірювання сили, що розвивається пневмоциліндром

1 - кістяк; 2 – платформа; 3 - силозмірювальний датчик; 4 – датчик; 5 – осцилограф; 6 - комп'ютер; 7 – трос; 8, 10, 12 обвідний ролик; 9 – хвостовик; 11 – важіль; 13 – поршень; 14 - пневмоці ліндр; 15 - вакуумметр; 16 - двоходовий вентиль; 17 - вакуумрегулятор; 18 - вакуумнасос.



Рисунок 3.9 – Стенд для вимірювання сили, що розвивається пневмоциліндром

1 – силівимірювальний датчик; 2 – датчик вакуумметричного тиску

Поршень 13 пневмоциліндра 14 містить обвідний ролик 12. Для вимірювання зусилля, що розвивається пневмоциліндром 14 на тросі 7, на платформі 2 встановлено силівимірювальний датчик 3, до якого прикріплений трос 7 пневмоциліндра 14, датчик тиску 4. Датчики 3 і 4 з'єднані з осциллографом 5 РС-500А і далі з комп'ютером 6. Починали дослідження з калібрування тензометричного датчика тиску 4, в якості якого використовували тензометричний датчик РК 8763 9.

Для цього датчик 4 підключали до джерела живлення, 0, 0 вакуумрегулятор 17 до вакуумнасос 18, контролюючи його вакуум метром 15 з точністю вимірювання $+0,001$ МПа. Змінюючи вакуумметричний тиск від 0 до $0,05+0,001$ МПа з кроком $0,01+0,001$ МПа фіксували відповідні цифрові показання осцилографа РС-500А 5 в комп'ютері 6, тим самим встановлюючи ціну кроку цифрової реєстрації.

Потім калібрували силівимірювальний датчик 3 натягу троса. Для цього датчик 3 навантажували еталонними гирями, змінюючи навантаження в інтервалі від 0 до 6 кг з кроком 0,2 кг. У цьому використовували гирі класу Е1. Спочатку силівимірювальний датчик 3 по черзі навантажували чотирма гирями масою $200+0,0001$ г кожна, одночасно реєструючи показання осцилографа 5 РС-500А в комп'ютері 6. Потім чотири еталонні гирі замінювали 00, 00 показання, а потім продовжували послідовно навантажувати гирями масою $200+0,0001$ г з одночасною реєстрацією показань. Наступна дія – заміна еталонної гирі масою 1 кг і чотирьох гирь по 0,2 кг кожна гирей масою $2000+0,0001$ г і після реєстрації показань осцилографа 5, за аналогією з вищевикладеним, збільшення

навантаження силовимірjuвального датчика 3 еталонними г0 їх заміною гирей масою 2000 г до навантаження на силовимірjuвальний датчик 12 6000+ 0,0001 р. Виконували дослідження наступним чином. Згідно матриці планування експерименту на остові 1 встановлювали пневмоциліндр 14 діаметром 0,05+0,001 м, включали осцилограф 5 РС-500А і комп'ютер 6, подавали 106 ня на датчики 3 і 4 і запускали вакуумнасос 18. Вакуум встановлювали вакуумметричний тиск, що дорівнює 0,020+0,001 МПа і подавали вакуумметричний тиск у пневмоциліндр 14, відкриваючи двоходовий вентиль 16. При цьому поршень 13 за допомогою обвідного ролика 12 впливаючи на трос 7, втягував його. Трос 7, обкочуючись по обвідних роликах 8 і важеля 10 11, натягувався, взаємодіючи з силовимірjuвальним датчиком 3, тим самим формуючи сигнал, що надходить в осцилограф 5 РС-500А і далі реєструється в комп'ютері 6.

Одночасно до осцилографа 00 сигнал від датчика 4, тим самим фіксує вакуумметричний тиск у пневмоциліндрі 14. Після цього двоходовим вентилем 16 порожнину пневмоциліндра 14 повідомляють з атмосферою, від ключів від вакуумнасоса 18. Потім знову двоходовим вентилем 16 пневмоциліндр 14 підключають до вакуумнасоса. Потім, згідно з матрицею планування експерименту (Таблиця 3.1) вакуумрегулятором 17, контролюючи вакуумметром 15, встановлювали вакуумметричний тиск, що дорівнює 0,035+0,001 МПа і подаючи вакуумметричний тиск в пневмоциліндр 14, проводили дослідження досліджуваних параметрів в новому режимі.

Потім вакуумметричний тиск збільшували до 0,050 МПа. І так повторювали для пневмоциліндрів діаметром 0,06 м 0,07 м. Отримані результати піддавали математичної обробки.

3.5 Методика дослідження часу досягнення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра мобільного агрегату для доїння корів

З теоретичних досліджень робочого процесу пневмоциліндра мобільного агрегату для доїння корів у період зняття доїльного апарату з вимені тварини випливає, що час досягнення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра залежить від поданого вакуумметричного тиску, об'єму вакуумованої порожнини пневмоциліндра, довжини і діаметра патрубків, за допомогою якого пневмоциліндр підключений до джерела вакуумметричного тиску. У такому випадку, фактори, що впливають на критерій оптимізації, яким є час досягнення заданого вакуумметричного тиску в порожнині пневмоциліндра, – вакуумметричний тиск, об'єм вакуумованої порожнини пневмоциліндра, довжина і діаметр патрубка. З попередніх теоретичних досліджень впливають мінімальні та максимальні значення вибраних факторів, які наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Чинники, що впливають на параметр оптимізації.

ПОЗНАЧЕННЯ	НАЗВА ФАКТОРУ	РІВНІ ВАРІАЦІЇ		
		-1	0	+1
x_1	Діаметр патрубкa, м	0,001	0,003	0,005
x_2	Довжина патрубкa, м.	0,01	0,025	0,04
x_3	Вакуумметричний тиск (Абс.), Па	20000,0 (80000,0)	35000,0 (70000,0)	40000,0 (60000,0)
x_4	Вакуумований об'єм пневмоциліндра, м ³	0,001	0,002	0,003

Відомо, що для ортогональності плану виконання експерименту потрібно виконати умову симетрії, що підтверджується рівністю нулю результатів додавання елементів довільно обраного стовпця матриці планування експериментів, а також суми творів елементів будь-яких двох стовпців. Дана вимога симетричності та ортогональності в нашому випадку виконується за умови: зіркове плече $d=1,4142$; зміна квадратичної змінної на величину усунення $\varphi=0,8$. Це відповідає чотирифакторному експерименту. Матриця планування факторного експерименту 24 наведена у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матриця планування факторного експерименту

№ досвіду	ФАКТОРИ ТА ЇХ ПОДІБНІСТЬ				
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	1	1	1	1	1
2	-1	1	1	1	1
3	1	-1	1	1	1
4	-1	-1	-1	1	1
5	1	1	-1	-1	1
6	-1	1	-1	-1	1
7	1	-1	1	-1	1
8	-1	-1	1	-1	1
9	1	1	1	1	-1
10	-1	1	-1	1	-1
11	1	-1	-1	1	-1
12	-1	-1	-1	1	-1
13	1	1	1	-1	-1
14	-1	1	1	-1	-1
15	1	-1	1	-1	-1

Для реалізації даного факторного експерименту по встановленню закономірності зміни часу досягнення заданого вакуумметричного тиску в

порожнині пневмоциліндра, піддається під вакуумом, реєструвати параметр, що вивчається (Рисунок 3.10; 3.11).

Стенд для вимірювання часу досягнення заданого вакуумметричного тиску, включає кістяк 1, на якому встановлений вакуумний насос 22 з вакуумрегулятором 21 і вакуумметром 19 і пневмоциліндр 17 зняття доїльного апарату. Вакуумний насос 22 через триходовий вентиль 20 і далі патрубком 18 з'єднаний з пневмоциліндром 17. Пневмоциліндр 17 на остові 1 встановлений вертикально і до його верхнього обрізу прикріплений важіль 11 з обвідними роликками 8 і 10, хвостовиком.

Поршень 16 пневмоциліндра 17 містить обвідний ролик 15. Для вимірювання переміщення поршня 16 на пневмоциліндрі 17 прикріплений датчик 13 з блоком управління 14 і кронштейни 3 і 12 для рухомого кріплення троса 7. Для реєстрації вакуумметричного тиску, що розвивається в 4, з'єднаний з осцилографом 5 РС-500А і далі з комп'ютером 6.

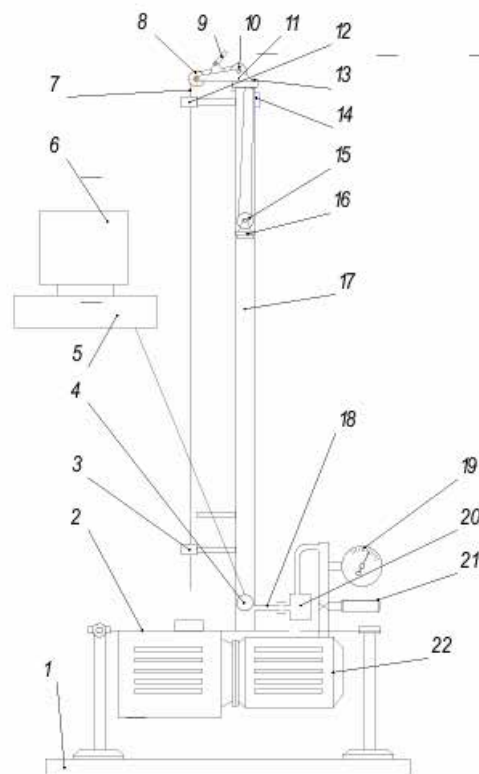
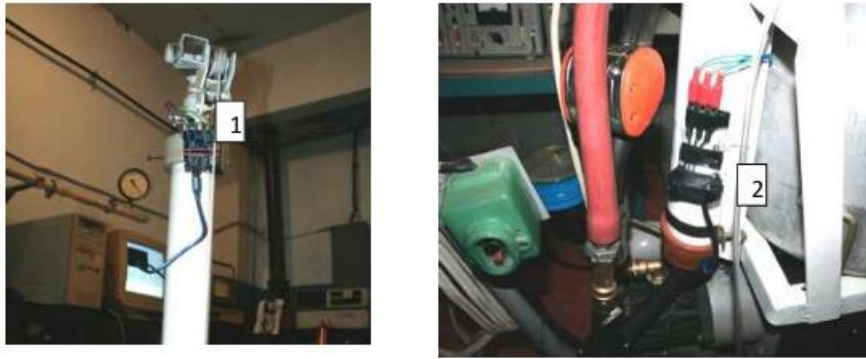


Рисунок 3.10 – Схема стенду для вимірювання часу досягнення заданого вакуумметричного тиску

1 - остов; 2 - платформа; 3, 12 - кронштейн; 4 - датчик; 5 - осцилограф; 6 - комп'ютер; 7 - трос; 8, 10, 14 - обвідний ролик; 9 - хвостовик; 11 - важіль; 13 – датчик; 15 - поршень; 16 – мірна лінійка; 17 - пневмоциліндр; 18 - патрубок; 19 – вакуумметр; 20 - двоходовий вентиль; 21 – вакуумрегулятор; 22 – вакуумнасос



1 – датчик переміщення поршня; 2 – датчик вакуумметричного тиску.

Рисунок 3.11 – Стенд для вимірювання часу досягнення заданого вакуумметричного тиску

Для досліджень нами були виготовлені патрубки з параметрами, що відповідають умовам експерименту (Таблиця 3.5).

Таблиця 3.5. Конструктивні параметри патрубків, що використовуються в експерименті.

№	Параметри патрубка	
	Довжина повітряного каналу патрубка, мм	Діаметр отвору, мм
1	10	1
2		3
3		5
4	25	1
5		3
6		5
7	40	1
8		3
9		5

Починали дослідження з калібрування тензометричного датчика 4 тиску, в якості якого використовували датчик РК 8763 9. Для цього змінюючи вакуумметричний тиск від 0 до 0,05+0,001 МПа з кроком 0,01+0,001 МПа фіксували відповідні цифрові показання осциллограм самим встановлюючи ціну кроку цифрової реєстрації. Потім встановлювали технологічний об'єм V_t пневмоциліндра 17 при крайньому нижньому положенні поршня 16, що піддається вакуумуванню в процесі досліджень. Для цього пневмоциліндр 17 перевертали нижньою частиною нагору, на патрубок 18 надягали шланг, вільний кінець якого опускали в ємність з водою. Поршень 16 за трос 7 опускали на деяку відстань вниз, засмоктуючи воду в пневмоциліндр 18 вгору, і допоміжним стержнем пневмоциліндра 17 до упору, витісняючи воду з циліндра. Воду, що залишилася в підпоршневому просторі, зливали в мензурку і вимірювали залишок води, тим самим встановлюючи шукане значення технологічного об'єму

V_t . Об'єм пневмоциліндра, що піддається вакуумуванню в процесі досліджень, визначали за формулою:

$$V_v = \frac{\pi d_{is}^2}{4} S_p + V_t \quad (3.6)$$

де d_{is} – діаметр пневмоциліндра, м;

s_p – переміщення поршня, м.

З даного рівняння знаходили необхідне переміщення поршня 15 для встановлення заданого об'єму пневмоциліндра, що піддається вакуумуванню через досліджуваний патрубков 18.

Як датчик 13 положення поршня 16 в пневмоциліндрі 17 використовували датчик відстані ультразвуковий HC-SR04 підключається до контролера 14 Arduino UNO R3, що налаштовується на аналоговий вихід сигналу. Контролер 14 підключали до комп'ютера, попередньо встановивши програму управління контролером 14 і потім узгодження скетч контролера Arduino UNO R3 і датчика HC-SR04. Для калібрування датчика 13 включали комп'ютер, підключали контролер 14 UNO R3 Arduino, запускали програму управління контролером і ввантажували скетч узгодження контролера Arduino UNO R3 і датчика HC-SR04. У комп'ютері фіксували початкове свідчення. Поршень 16 переміщали в пневмоциліндрі на відстань в межах 0...1,0 м з кроком 0,1 м, контролюючи переміщення мірною лінійкою з точністю +0,001 м, фіксуючи показання в комп'ютері в кожній точці положення поршня 16.

Виконували дослідження в такий спосіб. Згідно з матрицею планування експерименту на остові 1 встановлювали пневмоциліндр 17 до упору і потім, 13, через об 112 водний ролик 15 переміщали поршень 16 на необхідну відстань s_p .

Від зворотного руху трос фіксували хвостовиком 9. При цьому слід помітити, що так як трос 7 з поршнем 16 взаємодіє через обвідний ролик 15, переміщення троса має скласти:

$$S_{tr} = 2S_p \quad (3.7)$$

де s_{tr} - Переміщення троса, м.м.

Включали осцилограф 5 PC-500A і комп'ютер 6, подавали живлення на датчик 4 і датчик 13 і запускали вакуумнасос 22. Вакуумрегулятором 21, контролюючи вакуумметром 19 встановлювали вакуумметричний тиск, що дорівнює 0,020+0,001 МПа і подавали вакуум.

Стенд готовий до дослідження процесу вакуумування порожнини пневмоциліндра з вихідними параметрами згідно з матрицею планування експерименту.

Відкривали двоходовий вентиль 20 і повідомляли пневмоциліндр 17 з вакуумнасосом 22. Вакуумметричний тиск, взаємодіючи з датчиком 4, формував сигнал, що надходить в осцилограф 5 PC-500A і далі реєструється в комп'ютері 6 у часі. Після цього двоходовим вентилем 20 порожнину пневмоциліндра 17 повідомляли з атмосферою, відключивши від вакуумнасоса 22. Потім знову двоходовим вентилем 20 пневмоциліндр 17 підключали до вакуумнасоса 22 і повторювали вимірювання. Вимірювання проводили з триразовою повторністю.

Для переходу на наступну позицію матриці досліджень, після досягнення максимального вакуумметричного тиску в пневмоциліндрі 17, звільняли хвостовиком 9 трос 7, який обкочуючись по обвідним роликам 8 і 10 важеля 11 і ролик 15, дозволяв поршню 16 опускатися в 17 опускатися в 17 опускатися в 17 опускатися в 17 опускатися двоходовим вентилем 20 порожнину пневмоциліндра 17 повідомляли з атмосферою, відключивши від вакуумнасоса 18. Потім, згідно з матрицею планування експерименту (Таблиця 3.4), встановлювали новий режим досліджень і вимірювання повторювали.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ

4.1 Результати досліджень сили натягу троса пневмоциліндра під час руху доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії при $\alpha_t=0$

Для встановлення закономірності зміни сили натягу троса пневмоциліндра при русі доїльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії нами виконано дослідження згідно з методикою, викладеною в розділі 3.1. Отримані дані, після їх обробки на ЕОМ, лягли в основу рівнянь регресії, що характеризують характер зміни сили натягу троса підвісу доїльного апарату по траєкторії його руху, а також часу його руху з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії руху при $at=0$, залежно від під відстань.

Для умови, що s_1 - відстань від платформи до поршня, при крайньому його нижньому положенні, дорівнює 0,1 м; s_2 - відхилення по висоті хвостовика щодо поршня, при крайньому верхньому його положенні, дорівнює 0,1 м; s_3 - відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату щодо платформи візка доїльного агрегату, що дорівнює 0,1 м; k – коефіцієнт подовження троса, що дорівнює 1,2, хід поршня пневмоциліндра становить 1,04 м, маса доїльного апарату 3 кг, рівняння регресії, що характеризує взаємозалежність зазначених параметрів, має вигляд:

$$F_{11} = 27.656 + 14.896a + 8.405 \alpha - 14.49a \alpha - 4.255a^2 - 12.756 \alpha^2 \quad (4.1)$$

де F_{11} - натяг троса пневмоциліндра по траєкторії руху при масі доїльного апарату 3 кг Н;

a -відстань від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика на пневмоциліндрі в горизонтальній площині, м;

α – кут відхилення троса від вертикалі в початковий момент зняття доїльного апарату вимені корови, рад.

У графічному вигляді рівняння регресії представлено рисунку 4.1.

При збільшенні маси доїльного апарату до 3,5 кг емпіричне рівняння набуває вигляду:

$$F_{12} = 32.269 + 17.372a + 9.8 \alpha - 16.90a \alpha - 4.96a^2 - 14.875 \alpha^2 \quad (4.2)$$

де F_{12} - натяг троса пневмоциліндра траєкторії руху при масі доїльного апарату 3,5 кг, Н.

Його графічна версія представлена на рисунку 4.2.

При масі 4 кг зміна сили натягу троса підвісу доїльного апарату змінюється за законом таким емпіричним рівнянням, що описується:

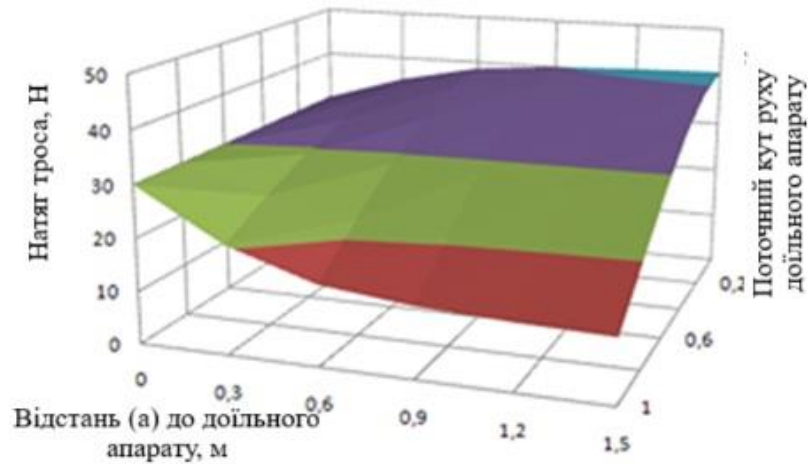


Рисунок 4.1 - Залежність сили натягу троса по траєкторії руху від початкового видалення (а) при масі доїльного апарату 3 кг

$$F_{13} = 36,877 + 19,855a + 11,205 \alpha - 5,67a^2 - 17006 \alpha^2 \quad (4.3)$$

де F_{13} - натяг троса пневмоциліндра траєкторії руху при масі доїльного апарату 4 кг, Н.

Його графічна версія представлена рисунку 4.3.

Адекватність емпіричних рівнянь досвідченим даним оцінювалася з використанням критерію Фішера. Як свідчать результати розрахунків, гіпотеза адекватності підтверджується. Для даних рівнянь при табличному значенні F – критерію – 11,507...11,514, його розрахункове значення знаходиться в інтервалі 0,357...0,358. Коефіцієнт детермінації дорівнює $R_2=0,950$. Коефіцієнти при складових рівняння регресії значущі.

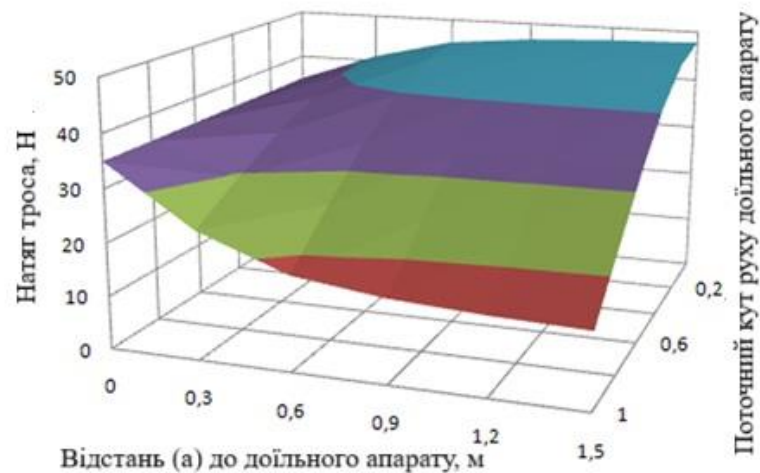


Рисунок 4.2 - Залежність сили натягу троса по траєкторії руху від початкового видалення (а) при масі доїльного апарату 3,5 кг

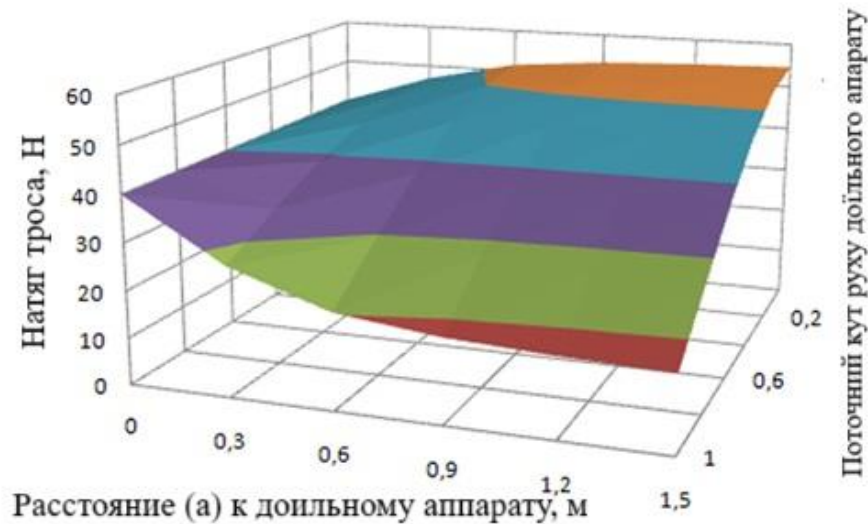


Рисунок 4.3 - Залежність сили натягу троса по траєкторії руху від початкового видалення (а) при масі дойльного апарату 4 кг

Також, за F – критерієм Фішера, з використанням комп'ютерної програми, розробленої в Білгородському ГАУ, оцінювалася адекватність теоретичної та емпіричної моделей, що характеризують залежність сили натягу троса по траєкторії руху від початкового видалення (а) дойльного апарату.

Для цього були виконані розрахунки сили натягу троса за теоретичним рівнянням (2.29) та емпіричним рівнянням (4.1), (4.2) та (4.3) (Додаток Е). Доказом вірності аналізованих теоретичних положень щодо взаємозв'язку сили натягу троса і положення дойльного апарату на траєкторії руху в процесі зняття з вимені корови є те, що розрахункове значення F - критерію Фішера для даних рівнянь, що дорівнює 1,29 ... 1,68, значно нижче його табличного значення.

Це дає нам підставу сказати, що при знятті з вимені корови дойльного апарату зі збільшенням його маси, так і початкового видалення від дойльного агрегату, сила натягу троса зростає і досягає максимуму в нижній точці траєкторії руху. Так, при масі дойльного апарату 3 кг і початковому видаленні 1,5 м у міру його руху в процесі зняття з вимені корови при зазначених вище конструктивних параметрах пневмоциліндра зняття і дойльного агрегату в цілому, натяг троса збільшується з 14,34 до 40,43 Н, 19,13 до 53,9 н.

Отримані дані після їх обробки на ЕОМ лягли в основу рівняння регресії, що характеризує характер зміни часу руху дойльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії руху при $\alpha_t=0$, залежно від початкового видалення дойльного апарату від точки підвісу на відстань (а):

$$t_{da} = 0.33981 + 0.03592a + 0.43879a^2 - 0,36202a^3 + 0,09697a^4 \quad (4.4)$$

де t_{da} - час руху дойльного апарату з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії, с.

Його графічна версія представлена рисунку 4.4.

Також, як і в попередньому дослідженні, за F – критерієм Фішера, з використанням комп'ютерної програми, оцінювалася адекватність теоретичної

та емпіричної моделей, що характеризують залежність часу руху від початкового видалення (а) доїльного апарату.

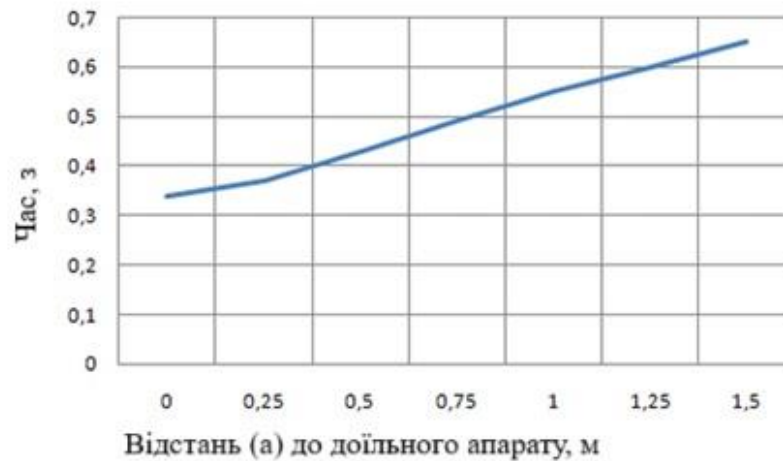


Рисунок 4.4 - Залежність часу руху доїльного апарату з точки підвісу на вимені корови в нижню точку траєкторії від початкового його видалення (а) від мобільного агрегату

Для цього були виконані відповідні розрахунки. Доказом справедливості теоретичних положень щодо залежності часу руху доїльного апарату в процесі зняття з молочної залози від початкового видалення (а) доїльного апарату є те, що при розрахунковому значенні F – критерію Фішера.

Встановлено, що зі збільшенням видалення доїльного апарату від мобільного агрегату час його руху в нижню точку траєкторію при знятті з вимені корови збільшується. Так, при видаленні доїльного апарату від мобільного агрегату на 0,5 м час його руху в нижню точку траєкторії становить 0,42 с, у той час як при видаленні 1,5 м – 0,65 с.

Висновки по розділу 4

1. Теоретичними та експериментальними дослідженнями доведено, що при знятті з вим'я корови доїльного апарату зі збільшенням як його маси, так і початкового видалення від доїльного агрегату, сила натягу троса зростає і досягає максимуму в нижній точці траєкторії руху. Так, при конструктивних параметрах мобільного агрегату: s_1 - відстань від платформи до поршня, при крайньому його нижньому положенні, дорівнює 0,1 м; s_2 - відхилення по висоті хвостовика щодо поршня, при крайньому його верхньому положенні, дорівнює 0,1 м; s_3 - відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату щодо платформи візка доїльного агрегату, що дорівнює 0,1 м; k - коефіцієнт подовження троса, дорівнює 1,2, хід поршня пневмоциліндра становить 1,04 м, максимальне видалення доїльного апарату становить 1,5 м, при масі доїльного апарату 3 кг і початковому видаленні 1,5 м, у міру його руху в процесі зняття з вимені корови доїльного агрегату в цілому, натяг троса збільшується з 14,34 до 40,43 Н, а при масі доїльного апарату 4 кг - з 19,13 до 53,9 Н.

2. Встановлено, що зі збільшенням видалення доїльного апарату від мобільного агрегату, час його руху в нижню точку траєкторію при знятті з вимені корови збільшується. Так, при видаленні доїльного апарату від мобільного агрегату на 0,5 м час його руху в нижню точку траєкторії становить 0,42 с, у той час як при видаленні 1,5 м – 0,65 с.

3. Як свідчать результати експерименту, при вазі електродвигуна 54 Н, вакуумної апаратури 38 Н, платформи агрегату 250 Н, пневмоциліндра 30 Н, доїльного відра 50 Н, поворотного важеля 10 Н і координатах центру ваги по осі Х електродвигуна 0,3 м, вакуумної апаратури 0,15 м, платформи агрегату 0,4 м, пневмоциліндра 0,3 м, доїльного відра 0,4 м, поворотного важеля 0,1 м, збільшення маси еталонних гирь в інтервалі від 0 до 4 кг, що імітують вертикальну складову ваги доїльного апарату, що формується в процесі його руху в початковій точці траєкторії при знятті з вимені корови при різному його початковому віддаленні від агрегату, викликає зміщення центру ваги на величину від 0 до 0,0081 м. Причому, максимальне зміщення центру ваги мобільного агрегату по осі Х досягається при куті β повороту поворотного важеля пневмоциліндра, що дорівнює нулю, а максимальне зміщення центру ваги мобільного агрегату по осі Y досягається при куті β , що дорівнює 1,57 рад. За F – критерієм Фішера оцінювалася адекватність теоретичних і емпіричних моделей, що характеризують залежність положення центру ваги агрегату по осі Х і Y від вертикальної складової F_y ваги доїльного апарату, а також кута β відхилення від осі Х напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат, що виникає в процесі зняття доїльного апарату з молочної залози корови.

4. Доведено, що за зазначених конструктивних параметрів мобільного агрегату для доїння корів та умов проведення досліджень щодо встановлення характеру зміни реакцій на опорах шасі агрегату для довантажуваної опори шасі А силами, що виникають у процесі руху доїльного апарату в процесі зняття зі штучних сосків, характерною є наявність екстремуму (максимуму). Збільшення з подальшим зниженням реакції на опорі шасі А відзначається як по траєкторії руху доїльного апарату, так і в міру збільшення кута β відхилення від осі Х напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат. Максимум реакції на опорі шасі А, що дорівнює 277,4 Н, спостерігається при знаходженні доїльного апарату в точці траєкторії з кутом відхилення від вертикалі $\alpha=0,8$ рад і кутом β відхилення від осі Х напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат, що дорівнює 1,256 рад.

Синхронно з цим відзначається зниження з подальшим збільшенням реакції на опорі шасі В як по траєкторії руху доїльного апарату, так і в міру збільшення кута β відхилення від осі Х напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат. Мінімум реакції на опорі шасі В, що дорівнює 79,65 Н, спостерігається при знаходженні доїльного апарату в точці траєкторії з кутом відхилення від вертикалі, як і для опори А - $\alpha=0,8$ рад, але при куті β відхилення від осі Х напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат, що дорівнює 1,884 рад. Складний характер зміни має реакція на опорі шасі О. При

куті β відхилення від осі X напрямку дії перекидаючого моменту, що дорівнює 1,57 рад, на всьому протязі траєкторії руху доїльного апарату реакція на опорі шасі O залишається постійною, що дорівнює 109,6 Н. В інтервалі від 0 до 1,57 рад відзначається збільшення реакції на опорі O , а в інтервалі від 1,57 до 3,14 рад, навпаки, зменшення. Так, при куті β відхилення від осі X напрямку дії перекидаючого моменту, що дорівнює 0,628 рад, у міру руху доїльного апарату реакція на опорі O збільшується з 67,2 Н до 93,7 Н, а при куті β відхилення від осі X напрямку дії перекидаючого моменту, що дорівнює 2,198 рад, у міру руху доїльного апарату реакція на опорі O зменшується з 137,9 Н до 120,3 Н. Причому, у міру збільшення відхилення кута β від кута 1,57 рад. в ту чи іншу сторону інтенсивність зміни реакції на опорі шасі O в міру переміщення доїльного апарату зростає. Мінімум реакції на опорі шасі O , що дорівнює 37,21 Н, спостерігається при знаходженні доїльного апарату в точці траєкторії з кутом відхилення від вертикалі, як і для опори A - $\alpha t = 0,8$ рад, але при куті β відхилення від осі X напрямку дії перекидаючого моменту на мобільний агрегат, що дорівнює 0.

5. Аналіз результатів досліджень показав, що при зазначених вище конструктивних параметрах агрегату при оцінці коефіцієнта його стійкості за реакцією на опорі шасі B встановлено, що його мінімальне значення становить 1,651, яким володіє мобільний агрегат при куті β відхилення від осі X напрямку дії перекидаючого моменту, що дорівнює 1,884 рад, і куті (αt) положення доїльного апарату на траєкторії руху, що дорівнює 0,8 рад. При оцінці коефіцієнта стійкості мобільного агрегату за реакцією на опорі шасі O встановлено, що його мінімальне значення становить 1,513, яким володіє мобільний агрегат кут (αt) положення доїльного апарату на траєкторії руху рівному 0,8 рад. І в першому, і в другому випадку коефіцієнт стійкості мобільного агрегату перевищує значення коефіцієнта стійкості агрегату, рівне 1,5, яке заклали в вихідні дані при розрахунку і виготовленні експериментального зразка мобільного агрегату для доїння корів.

Цим самим підтверджується вірність теоретичних положень, що стосуються розрахунку відстані від першої опори до лінії опор A і B (опорних коліс шасі агрегату), а також відстані між опорами A і B (між опорними колесами). З вищесказаного випливає, що при конструктивних параметрах мобільного агрегату для доїння корів, які наведені вище, відстань від першої опори до лінії опор A і B повинна бути не менше 0,422 м, а відстань між опорами A і B – не менше 0,262 м.

6. Аналіз емпіричного рівняння свідчить про те, що зі збільшенням як діаметра пневмоциліндра, так і вакуумметричного тиску, що підводиться до нього, сила на тросі зростає. При збільшенні діаметра пневмоциліндра з 0,05 м до 0,07 і вакуумметричного тиску з 10000 Па до 40000 Па сила на тросі збільшується з 10,12 Н до 97,02 Н. Дана залежність дозволяє також визначити діаметр і вакуумметричний тиск, при яких забезпечується необхідна сила на тросі пневмоциліндра. Так, якщо при масі доїльного апарату 4 кг і початковому

віддаленні від мобільного агрегату 1,5 м у міру його руху в процесі зняття з вимені корови по траєкторії, що виключає контакт доїльного апарату з підлогою стійла тварини, натяг троса збільшується з 19,13 до 53,9 Н, то необхідна сила на тросі може бути досягнута при діаметрі пневмоциліндра 0,06 м і вакуумметричному тиску не нижче 37500 Па, а при діаметрі 0,07 м – вакуумметричний тиск, що підводиться до пневмоциліндра, повинен бути не менше 28000 Па.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ДОЇННЯ КОРІВ

При розробці нових технічних засобів, зокрема доїльних апаратів для корів, необхідно обґрунтувати доцільність їх подальшого використання у виробництві. Одним із показників, який може бути критерієм оцінки їх ефективності, є економічний ефект. Для уніфікації економічних розрахунків та забезпечення сумісності отриманих результатів з результатами оцінки аналогічних машин, як правило, орієнтуються на відомі методики виконання подібних обчислень.

Ефект від використання розробленого нами мобільного агрегату для доїння корів встановлювали, визначаючи достовірність відмінності значень досліджуваних параметрів, що характеризують робочий процес експериментального агрегату та агрегату, який обраний як базовий зразок. При цьому вивчали показники, що оцінюють витрати часу оператором на виконання операцій з підготовки доїльного обладнання до доїння, підготовки тварин, встановлення доїльного апарату та контролю за технологічним процесом, здійснення заключних операцій процесу машинного доїння.

5.1. Розрахунок економічного ефекту експериментального мобільного агрегату для доїння корів

Розрахунок економічного ефекту від використання експериментального мобільного агрегату для доїння корів здійснювали з урахуванням наведених витрат.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку річної економічної ефективності та лімітної ціни експериментального мобільного агрегату для доїння корів

Показники	Одиниця виміру	Експериментальний мобільний агрегат	АІД-1
Дійне стадо	гол.	20	20
Кількість пристроїв для доїння	шт.	2	1
Тривалість доїння	с	328,2	304,2
Кратність доїння	раз/доб.	3	3
Кількість операторів	чол.	1	1
Витрати ручної праці на обслуговування корови і доїння	с	264,0	318,0

Потужність двигуна	кВт	0,7	0,7
Вартість пристрою для доїння	грн.	10530	9720
Амортизаційні відрахування	%	16,6	16,6
Відрахування на поточний ремонт і догляд	%	14,2	14,2
Годинна ставка оператора	грн	72,26	-

Розрахунок економічного ефекту від використання експериментального мобільного агрегату для доїння корів здійснювали з урахуванням наведених витрат. Дані для розрахунку викладені в таблиці 5.1.

Зниження собівартості молока під час використання експериментального мобільного агрегату досягається з допомогою виключення технологічної операції машинного доїння і зняття доїльного апарату після завершення доїння корови, зменшуючи час ручних робіт. Величину зниження собівартості можна визначити за рівнянням:

$$E_a = (Z_b - Z_H)G_H - [(C_e + H_K K_b) - (C_H + H_k K_H)]G_H, \quad (5.1)$$

де: E_a - надбавка до прибутку, що забезпечується одним мобільним агрегатом на рік від зниження трудомісткості, грн.;

Z_b Z_H - сумарна витрата коштів у розрахунку на одну корову при доїнні агрегатом АІД-1 та експериментальним мобільним агрегатом, руб.;

G_H - кількість сосків, що припадає на рік на один експериментальний мобільний агрегат для доїння корів, прим.;

C_e C_H - прямі витрати коштів на доїння корів агрегатом АІД-1 та експериментальним мобільним агрегатом, грн.;

H_K - нормативний коефіцієнт капітальних вкладень, $H_K = 0,15$;

K_b K_H - питома вага капітальних вкладень у загальній вартості витрат на одну дійку при доїнні агрегатом АІД-1 та експериментальним агрегатом.

$$C_b = t_{po1} B_q; \quad C_H = t_{po2} B_q, \quad (5.2)$$

де: t_{po1} , t_{po2} - трудомісткість операцій при використанні агрегату АІД-1 та експериментального мобільного агрегату, год;

B_q - тариф, грн/год.,

а K_b і K_H - як:

$$K_b = \frac{Z_b}{G_H}; \quad K_H = \frac{Z_H}{G_H}, \quad (5.3)$$

де: Z_b - вартість експериментального мобільного агрегату для доїння корів, грн.;

$Z_{\text{Л}}$ - лімітна вартість мобільного агрегату для доїння корів, грн.

Лімітна вартість експериментального мобільного агрегату для доїння корів:

$$Z_{\text{Л}} = \frac{1,1Z_b\alpha + (l_b\beta - l_{\text{н}})G_{\text{H}}P_{\text{H}}}{(1 + a_{\text{H}}P_{\text{H}})1,1}, \quad (5.4)$$

де: α - коефіцієнт оновлення агрегату АІД-1 при G_{H} сосків;

l_b - експлуатаційні витрати з агрегату АІД-1;

$l_{\text{н}}$ - експлуатаційні витрати з експериментального мобільного агрегату без урахування амортизаційних відрахувань;

β - коефіцієнт зниження витрат, $\beta = 0,99$;

P_{H} - нормативний коефіцієнт ефекту капвкладень, $P_{\text{H}} = 0,125$;

a_{H} - відрахування на амортизацію, $a_{\text{H}} = 0,14$.

Експлуатаційні l_b витрати з агрегату АІД-1:

$$l_b = \frac{B_b + A_b}{G_{\text{H}}}, \quad (5.5)$$

де G_{H} - річні експлуатаційні витрати, грн.;

B_b - фонд оплати праці, грн.;

A_b - амортизація та ремонт, грн.;

Амортизаційні відрахування:

$$A_b = a_{\text{H}}(Z_b + R_t), \quad (5.6)$$

де: R_t - торгові та транспортні витрати, грн.

Як впливає з таблиці 5.2 впроваджуваний експериментальний мобільний агрегат для доїння корів має досить високі експлуатаційні та економічні показники.

Таблиця 5.2 - Економічна ефективність експериментального мобільного агрегату для доїння корів

Показники	Одиниця виміру	Експериментальний доїльний апарат	АІД-1
Капіталовкладення	грн	23600	10900
Експлуатаційні витрати:	грн	3480	1610
а) відрахування на амортизацію			
б) витрати на поточний ремонт і техобслуговування	грн	2980	1370

Разом приведені витрати	грн	27050	14665
Річний економічний ефект при приведених затратах на 20 корів	грн	18150	-
Річний економічний ефект при приведених затратах на одну корову	грн	907	-
Час окупності	рік	0,52	-

Доїння корів експериментальним мобільним агрегатом забезпечує досягнення економічного ефекту за наведеними витратами. Річний ефект становить 18150 грн. У розрахунку одну перше теля ця сума становить 907 грн.

1. Машинне доїння та зняття доїльного апарату з вимені корови, виконується тільки при обслуговуванні агрегату АІД-1, на яку йде, як показують результати досліджень, 55,1 з часу. Загальні витрати часу при обслуговуванні доїльного агрегату АІД-1 становлять 318 с проти 264 с при служінні експериментального мобільного агрегату. Відзначається триваліший період доїння корови експериментальним доїльним апаратом - 328,2 с, ніж при доїнні агрегатом АІД 1 - 304,2 с. Його фактичне значення дорівнює 4,415. Оскільки час обслуговування експериментального доїльного апарату, з урахуванням часу контролю над початком молока віддачі корови та наступною стабілізацією процесу доїння, менше часу доїння корови, то оператор може обслуговувати два експериментальних мобільних доїльних агрегати.

2. Річний економічний ефект експериментального мобільного агрегату для доїння корів з урахуванням наведених витрат, для 20 голів, становить 18150 грн.. рубля, але в одну голову – 907грн. Впровадження мобільного агрегату для доїння корів у господарствах дозволе отримати економічний ефект понад 64800 грн на рік.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз технологій машинного доїння корів і відомих конструкцій доїльного обладнання дозволив встановити, що для доїння нечисленних груп тварин в умовах фермерських господарств доцільно використовувати мобільні доїльні агрегати з вертикально встановленим пневмоциліндром зняття доїльного апарату з вимені після завершення процесу доїння, керованим датчиком потоку молока.

2. Розроблено математичні моделі робочого процесу мобільного агрегату для доїння корів, що встановлюють залежність його стійкості від перекидання під впливом моменту, створюваного доїльним апаратом при його знятті з молочної залози тварини, напрямку дії перекидаючого моменту, конструктивних параметрів агрегату, а також положення опор шасі мобільного агрегату. При оцінці коефіцієнта стійкості мобільного агрегату проти перекидання за реакцією на опорі шасі В встановлено, що його мінімальне значення становить 1,651, а за реакцією на опорі шасі О - 1,513. І в першому, і в другому випадку коефіцієнт стійкості мобільного агрегату перевищує значення коефіцієнта стійкості агрегату, рівне 1,5, яке закладали в вихідні дані при розрахунку і виготовленні експериментального зразка мобільного агрегату. При заданих конструктивних параметрах мобільного агрегату для доїння корів відстань від першої опори до лінії опор А і В повинна бути не менше 0,422 м, а відстань між опорами А і В - не менше 0,262 м.

3. Встановлено, що хід поршня пневмоциліндра зняття доїльного апарату з вимені корови, при якому виключається контакт доїльного апарату з підлогою стійла при його переміщенні з точки підвісу на вимені в нижню точку траєкторії руху, залежить від відстані від агрегату до доїльного апарату, встановленого на вимені, і конструктивних параметрів агрегату. Так, для умови, що відстань від платформи до поршня, при крайньому нижньому його положенні, дорівнює 0,1 м; відхилення по висоті хвостовика відносно поршня, при крайньому верхньому його положенні, дорівнює 0,1 м; відхилення по висоті положення точки кріплення троса до доїльного апарату відносно платформи візка доїльного агрегату дорівнює 0,1 м; при максимальній відстані від точки кріплення троса до доїльного апарату до положення хвостовика в горизонтальній площині 1,50 м хід поршня повинен бути не менше 1,04 м.

4. Теоретичними та експериментальними дослідженнями доведено, що при збільшенні маси доїльного апарату і початкового його віддалення від доїльного агрегату, сила натягу троса зростає і досягає максимуму в нижній точці траєкторії руху. При масі доїльного апарату 4 кг і початковому віддаленні 1,5 м вона становить 53,9 Н. Для керованого зняття доїльного апарату з попередженням його контакту з підлогою стійла корови в нижній точці його

траєкторії руху при діаметрі пневмоциліндра 0,06 м вакуумметричний тиск повинен бути не нижче 37,5 кПа, а при діаметрі 0,07 м – не менше 28,0 кПа.

5. Для забезпечення зняття доїльного апарату з вимені тварини, мінімальний час руху якого по траєкторії, що виключає його контакт з підлогою стійла корови, спостерігається при його віддаленні 0,5 м і становить 0,428 с, для досягнення в зазначений проміжок часу в порожнині пневмоциліндра вакуумованим об'ємом 0,003 м³ вакуумметричного тиску 37,5 кПа при довжині патрубку 0,01 м його діаметр повинен бути не менше 0,0022 м, а при довжині 0,03 м – не менше 0,0038 м.

6. Встановлено, що в результаті використання експериментального мобільного агрегату для доїння корів у порівнянні з доїльним агрегатом АІД-1 має місце скорочення витрат часу на обслуговування одного агрегату на 16,98%, що дозволяє оператору обслуговувати два агрегати. Річний економічний ефект експериментального мобільного агрегату для доїння корів з урахуванням наведених витрат, у розрахунку на 20 голів, становить 33703,8 грн, а на одну голову – 1685,19 грн. Впровадження мобільного агрегату для доїння корів у господарствах дозволило отримати економічний ефект понад 120,0 тисяч грн на рік.

Розроблений мобільний агрегат для доїння корів, що містить пневмоциліндр зняття доїльного апарату з вимені корови, керований датчиком потоку молока, рекомендується до використання для доїння нечисленних груп корів.

Доцільно продовжити дослідження з розробки та обґрунтування конструктивно-режимних параметрів доїльного апарату з чотириквартальним керованим режимом доїння корів..

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрієць В. М. Аналіз конструкцій доїльних апаратів для малих ферм. *Техніка і технології АПК*, 2019, №4, с. 52–58.
2. Бердник П. В. Оцінювання ефективності мобільних доїльних агрегатів. *Механізація та електрифікація АПК*, 2020, №3, с. 33–39.
3. Бондаренко О. Г. Дослідження роботи пневмоциліндрів у доїльних установках. *Вісник ХНАУ*, 2021, №2, с. 44–50.
4. Войтенко С. Л. Сучасні методи механізованого доїння корів. *Тваринництво України*, 2020, №7, с. 21–27.
5. Грабовський Р. В. Вплив конструкції доїльного обладнання на продуктивність ферми. *Аграрний інженеринг*, 2018, №1, с. 15–22.
6. Дутчак І. В. Математичне моделювання стійкості мобільних доїльних агрегатів. *Наукові праці ТНЕУ*, 2022, №3, с. 61–68.
7. Клименко М. М. Вакуумні системи в доїльних апаратах: аналіз параметрів. *Вісник НУБіП*, 2020, №6, с. 73–80.
8. Коваленко І. В. Розрахунок траєкторії зняття доїльного апарата з вимені. *Механізація сільського господарства*, 2021, №4, с. 29–36.
9. Лисенко О. О. Технологічні аспекти машинного доїння в умовах малих господарств. *Аграрна наука і практика*, 2019, №2, с. 84–90.
10. Мельник П. П. Порівняння конструкцій доїльних апаратів різних виробників. *Технології в АПК*, 2022, №1, с. 55–63.
11. Barrington E.J.W. Analysis of Milking Equipment Efficiency. *Journal of Dairy Research*, 2018, Vol. 85(3), pp. 245–252.
12. Bickert W.G., Mein G.A., Reinemann D.J. Mechanical performance of modern milking machines. *Journal of Dairy Science*, 2019, Vol. 102(4), pp. 3756–3764.
13. Davis S.R., Farr V.C. Milking characteristics under different vacuum conditions. *Journal of Dairy Science*, 2020, Vol. 103(5), pp. 4891–4898.
14. Holloway A., Smith J. Pneumatic cylinder applications in dairy systems. *Agricultural Engineering International*, 2019, Vol. 21(2), pp. 112–119.
15. International Dairy Federation. Guidelines for milking machine operation. *IDF Bulletin*, 2017, No. 489, pp. 1–36.
16. ISO 5707. Milking machine installations — Construction and performance. International Organization for Standardization, 2022, pp. 1–56.
17. Mein G.A. Machine milking effects on teat condition. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2016, Vol. 59(4), pp. 393–402.
18. O’Callaghan E. Development of automated milking technologies. *Dairy Technology Review*, 2021, Vol. 17(1), pp. 14–23.
19. Reinemann D.J. Testing procedures for milking machine stability. *Journal of Dairy Engineering*, 2016, Vol. 12(2), pp. 51–59.

20. Ribeiro M.E. et al. Flow sensors in milking systems: performance and reliability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, Vol. 173, pp. 1–8.
21. Смалій О. В. Автоматизація процесів машинного доїння корів. *Науковий вісник НУХТ*, 2020, №5, с. 97–104.
22. Кравець В. М. Параметри пневмосистем доїльних апаратів. *Інженерія тваринництва*, 2021, №3, с. 11–18.
23. Шевчук Г. В. Дослідження вакуумметричного тиску в доїльних установках. *Техніка АПК*, 2019, №6, с. 58–64.
24. Боднар В. В. Динаміка руху доїльного апарата при автоматичному знятті. *Полтавський аграрник*, 2018, №2, с. 33–40.
25. Писаренко В. Ф. Розрахунок навантажень у тросових приводах доїльних апаратів. *Аграрна техніка*, 2017, №5, с. 22–28.
26. Березовський М. Д. Міцність конструкцій доїльних агрегатів у динаміці. *Вісник ХНАУ*, 2020, №3, с. 49–57.
27. Федорук О. М. Підвищення ефективності машинного доїння у фермерських господарствах. *Наукові записки ЛНТУ*, 2022, №2, с. 103–110.
28. Савчук П. І. Ефективність автоматизованих доїльних систем на малих фермах. *Тваринництво та ветеринарія*, 2018, №4, с. 17–23.
29. Timmerman M., Werner C. Stability evaluation of mobile milking units. *Agricultural Engineering International*, 2019, Vol. 21(3), pp. 156–163.
30. Van der Poel T. Innovations in milking systems for small-scale dairies. *Journal of Dairy Technology*, 2021, Vol. 26(1), pp. 5–14.