

На основі проведених експериментальних досліджень визначено закон розподілу тривалості підготовки тварини до доїння, закон розподілу тривалості доїння, створено статистичну модель тривалості машинного доїння при використанні доїльного робота, доїльного апарату з функцією керування процесом доїння та доїльного апарату без функції керування процесом доїння

Ключові слова: тривалість доїння, тривалість підготовки тварини, машинне доїння, статистична модель

На основе проведенных экспериментальных исследований определен закон распределения длительности подготовки животного к доению, закон распределения длительности доения, создана статистическая модель длительности машинного доения при использовании доильного робота, доильного аппарата с функцией управления процессом доения и доильного аппарата без функции управления процессом доения

Ключевые слова: длительность доения, длительность подготовки животного, машинное доение, статистическая модель

УДК 681.586

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ТРИВАЛОСТІ МАШИННОГО ДОЇННЯ

В. Ю. Кучерук

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: kucheruk@mail.ru

Є. А. Паламарчук

Кандидат технічних наук, професор

Кафедра економічної кібернетики

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008

E-mail: evgen.pal@gmail.com

П. І. Кулаков

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: kulakovpi@gmail.com

Т. В. Гнесь

Аспірант*

E-mail: tata-1990@mail.ru

*Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

1. Вступ

Сучасне молочне відділення тваринницької ферми не може ефективно функціонувати без систем автоматичного управління та інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока. Продуктивність доїльної установки, її тип, вимірювані зоотехнічні та технологічні параметри визначають структуру та характеристики вищевказаних систем. При проектуванні нових та модернізації існуючих доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм висуваються високі вимоги до визначення продуктивності доїльної установки, що на практиці реалізувати дуже важко. Цим пояснюється той факт, що закордонні компанії у своїх рекламних проспектах не наводять її чисельного значення, або наводять його з невисокою точністю [1, 2]. Тривалість машинного доїння є важливим параметром доїльної установки, який має домінуюче значення при визначенні її продуктивності. Складність визначення продуктивності установки в значній мірі зумовлено недосконалістю існуючих моделей тривалості машинного доїння. Виходячи з цього, подальше вдосконалення цих моделей є актуальним завданням. Проведені дослідження відносяться до теорії та практики проектування, модернізації і автоматизації молочних відділень тваринницьких ферм.

2. Постановка проблеми

Існує три способи доїння: з використанням доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння, з використанням доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, з використанням доїльних роботів. Час машинного доїння залежить від того, який спосіб використовується та від часу підготовки тварини. Відомі моделі [1] тривалості доїння не забезпечують достатньої точності визначення продуктивності установки і потребують вдосконалення. Виходячи з цього, виникає необхідність у створенні статистичних моделей тривалості машинного доїння для вищевказаних способів, внаслідок чого підвищиться точність визначення продуктивності доїльної установки при її проектуванні або модернізації. Окрім того, створення цих моделей дозволить розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та систем автоматичного управління фермою.

3. Літературний огляд

Невід'ємною складовою процесу машинного доїння є технологічний процес підготовки тварини. В роботі [3] розглянуто цей процес і пропонується вважати

постійною його тривалість при розрахунках продуктивності доїльної установки. Це твердження можна вважати об'єктивним тільки для випадку використання доїльних роботів, у яких тривалість підготовки є детермінованою величиною. На звичайних доїльних установках тривалість підготовки тварини є випадковою величиною, яка залежить від ряду факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру, наприклад, від кваліфікації оператора, його відповідальності, інших випадкових факторів.

Інтервал часу, за який здійснюється видоювання тварини, також є випадковою величиною. Він залежить від принципу розподілу тварин за групами, алгоритму роботи доїльного апарату, типу доїльної установки і т. д.

У роботах [4, 5] пропонується в якості статистичної моделі часового інтервалу тривалості доїння на конвеєрній установці використовувати нормальний закон розподілу, у роботі [6] пропонується те саме для установки "Ялинка", у роботі [7] - для усіх доїльних установок, у [8] - для установки "Карусель". Слід зазначити, що нормальний закон розподілу не відображає важливу особливість часового інтервалу тривалості доїння, а саме те, що тривалість видоювання не може бути меншою за певну величину або нуль. Окрім того, внаслідок наявності певної кількості тугодійних тварин, закон розподілу тривалості доїння повинен мати певну асиметрію, чого не має нормальний закон. Можливість попадання на доїльну установку сухостійної тварини також не враховується при використанні нормального закону.

У роботі [1] наводяться результати досліджень, на основі яких пропонується вважати тривалість видоювання тварини випадковою величиною розподіленою за логнормальним законом. При цьому вказується, що даний підхід відповідає експериментальним даним з імовірністю 0,4 – 0,6. За спостереженнями авторів, закон розподілу часу видоювання тварини наближається до логнормального, якщо тварини розподілені на велику кількість груп у відповідності до стадії їх лактаційного періоду. В реальності ця умова виконується дуже рідко. Окрім цього, в [1] не враховується час мінімальної роботи доїльного апарату, який має детерміноване значення, та не враховується можливість доїння сухостійних тварин.

3. Результати досліджень

Процес підготовки тварини до доїння складається з наступних технологічних операцій: миття вимені; ручне видоювання перших струменів молока; масаж вимені; протимаститна обробка вимені; вдягання доїльних стаканів; знімання доїльних стаканів; післядоїльна обробка вимені. У випадку, якщо доїльна установка обладнана системою автоматичного управління технологічним процесом, у якій передбачена ідентифікація тварин, можуть додаватись ще такі технологічні операції: ручне введення номеру тварини при відсутності автоматичної ідентифікації; піднесення доярем до транспондера тварини зчитувача (для випадків напівавтоматичної ідентифікації); ручне введення номеру тварини, якщо не спрацювала система ідентифікації. Окрім того можуть бути присутні випадкові затримки

технологічних операцій, які зумовлені недостатньою кваліфікацією або недобросовісністю дояра, випадковим падінням доїльних стаканів, відмовами технічних засобів машинного доїння та іншими подібними причинами.

На основі досліджень, проведених авторами, встановлено, що диференційний закон розподілу часу t_p підготовки тварини до доїння наближається до χ^2 -квадрат розподілу при прив'язаному утриманні тварин, так і при безприв'язаному. Аналітичний вираз для χ^2 -квадрат розподілу визначається виразом [9]

$$P_{PD}(t) = \frac{t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}, \quad (1)$$

де $P_{PD}(t)$ - закон розподілу тривалості підготовки тварини до доїння;

t - час;

k - параметр закону розподілу;

$\Gamma(z)$ - гамма-функція Ейлера;

Для χ^2 -квадрат розподілу математичне очікування визначається виразом

$$M_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} dt = k, \quad (2)$$

а дисперсія

$$D_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{(t-k)^2 t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} dt = 2k. \quad (3)$$

Типовий алгоритм роботи доїльного апарату без функції керування процесом доїння полягає в наступному. Після вдягання доїльних стаканів, дояр візуально оцінює процес доїння і за певними ознаками робить суб'єктивний висновок про необхідність його завершення.

Таким чином, час тривалості доїння t_{TD} при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння є випадковою величиною.

Типовий алгоритм роботи доїльного апарату з функцією керування доїнням полягає в наступному. Після одягання доїльних стаканів дояр запускає доїльний апарат, який протягом детермінованого часу t_s здійснює стимуляцію вимені. Після закінчення фази стимуляції відбувається перехід до фази некеруваного доїння. Під час цієї фази протягом детермінованого часу t_{ND} інтенсивність молоковиділення не вимірюється. Далі здійснюється перехід до фази керуваного доїння, під час якої вимірюється інтенсивність молоковиділення, і, в залежності від її значення, встановлюється частота і шпаруватість пульсацій вакууму в доїльних стаканах. Ця фаза має випадкову тривалість t_{KD} . Після зниження інтенсивності молоковиділення нижче певного значення (як правило, це 200 г/хв), відбувається перехід до фази додоювання, під час якої протягом детермінованого часу t_M здійснюється масаж вимені.

Авторами були проведені дослідження часу тривалості доїння t_{TD} при використанні доїльних апаратів без функції управління процесом доїння та тривалості фази керованого доїння t_{KD} доїльних апаратів з функцією управління процесом доїння. В результаті досліджень встановлено, що розподіл цих часових інтервалів наближається до гамма-розподілу і визначається виразом [9]

$$P_{TD}(t) = \frac{t^l e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)}, \tag{4}$$

де $P_{TD}(t)$ - закон розподілу тривалості доїння при використанні доїльних апаратів без функції керування доїнням та тривалості фази керованого доїння при використанні доїльних апаратів з функцією керування доїнням; l, m - параметри розподілу;

Математичне очікування для гамма-розподілу визначається виразом

$$M_{TD} = \int_0^{+\infty} \frac{t^{l+1} e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m(l+1), \tag{5}$$

а дисперсія

$$D_{TD} = \int_0^{+\infty} \frac{(t-m(l+1))^2 t^l e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m^2(l+1). \tag{6}$$

При використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння, час доїння визначається як сума двох випадкових часових інтервалів - тривалості підготовки тварини до доїння та часу тривалості доїння

$$t_{N-D} = t_p + t_{TD}. \tag{7}$$

Ці дві випадкові величини є незалежними. Тому закон розподілу їх суми $p_D(t)$ знаходиться як згортка їх законів розподілу [10]

$$P_D(t) = P_{PD}(t) * P_{TD}(t) = \int_0^{+\infty} \frac{\tau^{k-1} (t-\tau)^l e^{-\frac{2t+\tau(m-2)}{2m}}}{2^{\frac{k}{2}} m^{l+1} \Gamma(l+1) \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} d\tau. \tag{8}$$

Наведений інтеграл аналітично не визначається і розрахувати його можливо тільки за допомогою чисельних методів. Математичне очікування тривалості доїння для цього випадку визначається за виразом

$$M_{N-D} = m(l+1) + k, \tag{9}$$

а дисперсія

$$D_{N-D} = m^2(l+1) + 2k. \tag{10}$$

Час доїння з використанням доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу підготовки тварини, часу стимуляції, часу некерованого доїння, часу керованого доїння, часу доювання:

$$t_{K-D} = t_p + t_s + t_{ND} + t_{KD} + t_M. \tag{11}$$

Випадковими величинами у виразі (11) є час підготовки тварини та час керованого доїння, закон розподілу суми яких визначається виразом (8). Математичне очікування часу доїння з використанням доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{K-D} = t_s + t_{ND} + t_M + m(l+1) + k, \tag{12}$$

а дисперсія

$$D_{K-D} = m^2(l+1) + 2k. \tag{13}$$

При використанні доїльного робота тривалість підготовки тварини до доїння є детермінованою величиною t_p . Таким чином, тривалість машинного доїння у цьому випадку визначається як сума

$$t_{R-D} = t_p + t_s + t_{ND} + t_{KD} + t_M, \tag{14}$$

математичне очікування цього часу визначається виразом

$$M_{R-D} = t_p + t_s + t_{ND} + m(l+1) + t_M, \tag{15}$$

а дисперсія

$$D_{R-D} = m(l+1). \tag{16}$$

Вирази (7) – (10) описують статистичну модель тривалості машинного доїння при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння, вирази (11) – (13) – при використанні доїльного апарату з функцією керування процесом доїння, вирази (14) – (16) - при використанні доїльного робота.

5. Апробація результатів досліджень

Дослідження проводилися в ПАТ “Радівське”, с. Радівка, Калинівського району Вінницької області (Україна). При визначенні розподілу тривалості підготовки тварини використана вибірка з 1200 спостережень, при визначенні розподілу часового інтервалу t_{TD} - вибірка з 700 спостережень, при визначенні розподілу часового інтервалу t_{KD} - вибірка з 800 спостережень. При дослідженні тривалості доїння з використанням доїльного апарату з функцією керування доїнням застосовувався апарат “Bigmilk” виробництва VAT “Брацлав”, у якого $t_s = 15$ с, $t_{ND} = 30$ с, $t_M = 30$.

В результаті досліджень встановлено, що при безприв'язному утриманні $M_{PD} = 28$ с, при прив'язному утриманні $M_{PD} = 32$ с. Математичне очікування тривалості доїння при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння $M_{N-D} = 338$ с, математичне очікування тривалості доїння при використанні доїльного апарату з функцією керування процесом доїння $M_{K-D} = 326$ с. Для оцінки близькості розподілу експериментальних даних до прийнятої моделі закону розподілу використано критерій згоди Пірсона [11].

6. Висновки

1. На основі проведених досліджень встановлено, що часовий інтервал технологічного процесу підготовки тварин до доїння має χ^2 -розподіл.

2. На основі проведених досліджень встановлено, що часовий інтервал тривалості доїння при використанні доїльних апаратів без функції управління доїнням та часовий інтервал керованого доїння при використанні доїльних апаратів з функцією керування доїнням мають гамма-розподіл.

3. Отримано аналітичні вирази, які описують статистичну модель тривалості машинного доїння при використанні доїльного робота, доїльного апарату без функції керування доїнням, доїльного апарату з функцією керування доїнням, яка дозволить підвищити точність визначення продуктивності доїльної установки при її проектуванні або модернізації, дозволить розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та систем автоматичного управління фермою.

Література

1. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. - М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. - 424 с.
2. Каталог продуктов и услуг ДеЛаваль [Текст] / 2011 – 372 с.
3. Де Монмоллен, Н. Системы «человек-машина» [Текст] / Н. Де Монмоллен, - М.: Мир, 1973. - 256 с.
4. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету конвейерных доильных установок молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. - М. : ВИЭСХ, 1977. - 32 с.
5. Викторова, И. Н. Расчет некоторых параметров конвейерных доильных установок [Текст] / И. Н. Викторова, Е. Н. Палецков // Механизация и электрификации социалистического сельского хозяйства. - 1974. - № 4. - С.19-21.
6. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. - М. : ВИЭСХ, 1978. - 32 с.
7. Гельштейн, З. И. Уточненный расчет производительности доильных установок [Текст] / З. И. Гельштейн, А. Я. Вилцанс, А. Р. Лауре, М. Я. Лусис // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1973. - № 10. - С. 18-23.
8. Крашаков, И. С. Производительность доильных установок «Карусель» [Текст] / И. С. Крашаков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1973. - № 10. - С. 24-28.
9. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника [Текст] / В. И. Тихонов. - М. : Радио и связь, 1982. - 624 с.
10. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] : справочник / В. С. Корольюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. - М. : Наука, 1985. - 640 с.
11. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] : произв. изд. / П. В. Новицкий, И. А. Зограф; - Л. : Энергоатомиздат, 1991. -304 с.