

УДК 681.586

## СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ТРИВАЛОСТІ МАШИННОГО ДОЇННЯ

Кучерук В.Ю., Паламарчук Є.А., Кулаков П.І., Гнесь Т.В.

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ МАШИННОГО ДОЕНИЯ

Кучерук В.Ю., Паламарчук Е.А., Кулаков П.И., Гнесь Т.В.

## STATISTICAL MODEL OF MACHINERY MILKING DURATION

Kucheruk V., Palamarchuk E., Kulakov P., Gnes T.

*На основі проведених експериментальних досліджень визначено закон розподілу тривалості підготовки тварини до доїння, закон розподілу тривалості видоювання тварини незалежно від принципу розподілу їх на групи та способу утримання, створено статистичну модель тривалості машинного доїння, яка враховує мінімально можливий час роботи доїльного апарату.*

*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 выдаивания животного независимо от принципа разделения их на группы и способа содержания, создана статистическая модель длительности машинного доения, которая учитывает минимально возможное время работы доильного аппарата.*

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

### 1. Вступ

Тривалість машинного доїння є важливим параметром доїльної установки, який має домінуюче значення при визначенні її продуктивності. При проектуванні нових та модернізації існуючих доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм висувуються достатньо високі вимоги до визначення продуктивності, 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]. Сучасне молочне відділення тваринницької ферми не може ефективно функціонувати без впровадження нового обладнання, систем автоматичного управління технологічним процесом і інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних та технологічних параметрів процесу отримання молока. Актуальним

завданням в умовах нашої країни є модернізація застарілих молочних відділень ферм шляхом впровадження нового обладнання, вищевказаних інформаційно-вимірювальних систем та систем автоматичного управління без капітальної реконструкції ферми. Продуктивність доїльної установки, її тип та структура, вимірювані зоотехнічні та технологічні параметри, визначають структуру інформаційно-вимірювальної системи, її параметри та характеристики.

Таким чином можна зробити висновок, що створення статистичної моделі тривалості машинного доїння підвищить точність визначення продуктивності доїльної установки при її проектуванні або модернізації. Окрім того, створення цієї моделі дозволить створити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних та технологічних параметрів процесу отримання молока. Цим обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

Невід'ємною складовою процесу машинного доїння є технологічний процес підготовки тварини. В роботі [3] розглянуто цей процес і пропонується його тривалість при розрахунках продуктивності доїльної установки вважати постійною. Це твердження є об'єктивним тільки у випадку використання доїльних роботів. На звичайних доїльних установках тривалість підготовки тварини є випадковою величиною яка залежить від кваліфікації оператора, його відповідальності, навичок та 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 та інших факторів. У роботах [4-8] пропонується в якості статистичної моделі цього часового інтервалу використовувати нормальний закон розподілу. Але нормальний закон розподілу не відображає важливу особливість цього часового інтервалу, а саме те, що тривалість видоювання не може бути меншою за певну величину або нуль. У роботі [1] наводяться результати досліджень, на основі яких пропонується вважати тривалість видоювання тварини випадковою величиною розподіленою за логарифмічним нормальним 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 логарифмічного нормального, якщо тварини розподілені на велику кількість груп у відповідності до лактаційного періоду. В реальному житті ця умова виконується дуже рідко і тільки при безприв'язному утриманні тварин. Окрім цього, в [1] не враховується час мінімальної роботи доїльного апарату, який має детерміноване значення, та не враховується можливість доїння сухостійних тварин.

Метою проведених досліджень була розробка статистичної моделі тривалості машинного доїння, за допомогою якої в подальшому можна

підвищити точність визначення продуктивності доїльної установки та параметрів інформаційно-виміральної системи зоотехнічних та технологічних параметрів процесу отримання молока, що необхідно при проектуванні доїльних установок та їх модернізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Провести експериментальні дослідження, на основі яких визначити закон розподілу часового інтервалу технологічного процесу підготовки тварини до доїння.

2. Провести експериментальні дослідження, на основі яких визначити закон розподілу тривалості видоювання тварини незалежно від принципу розподілу їх на групи та способу утримання і алгоритму доїння.

3. Створити статистичну модель тривалості машинного доїння.

### 3. Результати досліджень

Процес підготовки тварини до доїння складається з наступних технологічних операцій : миття вимені; ручне видоювання перших струй молока; масаж вимені; протимаститна обробка вимені; одягання 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 ще додаватись наступні технологічні операції : ручне уведення номеру тварини, якщо відсутня автоматична ідентифікація; піднесення доярем до транспондера зчитувача, якщо використовується ручна система ідентифікації; ручне уведення номеру тварини, якщо не спрацювала система ідентифікації;

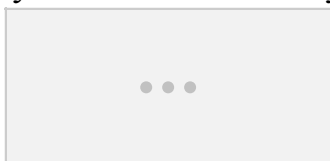
Окрім того можуть бути присутні випадкові затримки технологічної операції, які зумовлені наприклад недостатньою кваліфікацією або недобросовісністю дояра, випадковим падінням доїльних стаканів, відмовами технічних засобів машинного доїння та іншими подібними причинами.

На основі досліджень, проведених авторами, встановлено, що диференційний закон розподілу часу  $t$  підготовки тварини до доїння наближається до  $\chi^2$ -квадрат розподілу як при доїнні на стійловому молокопроводі при прив'язному утриманні тварин, так і у доїльному залі, при безприв'язному утриманні тварин. Для оцінки близькості розподілу вибірки експериментальних даних до прийнятої аналітичної моделі закону розподілу було використано критерій згоди Пірсона [9]. Аналітичний вираз для  $\chi^2$ -квадрат розподілу визначається виразом [10]:

$$f(t) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \cdot t^{\gamma-1} \cdot e^{-t}, \quad (1)$$

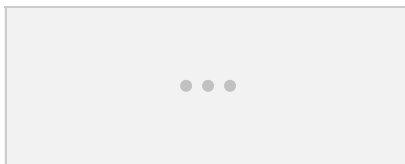
де  $f(t)$  - закон розподілу тривалості підготовки тварини до доїння;  $t$  - час;  $\gamma$  - параметр закону розподілу;  $\Gamma(\gamma)$  - гамма-функція Ейлера;

Для  $\chi^2$ -квдрат розподілу математичне очікування визначається виразом:



(2)

а дисперсія визначається виразом :



(3)

Слід відзначити, що у доїльному залі, математичне очікування та дисперсія часу підготовки тварини до доїння як правило дещо менше, ніж на стійловому молокопроводі. Це пов'язано з тим, що у доїльних залах деякі технологічні операції можуть бути автоматизовані (миття вимені, масаж вимені, знімання доїльних стаканів).

В теперішній час існує три концепції утримання тварин : прив'язне утримання, при якому людина приймає рішення про необхідність доїння та годування; безприв'язне утримання з використанням доїльного залу, коли людина приймає рішення про доїння, а тварина про годування; безприв'язне утримання з використанням доїльних роботів, коли тварина приймає рішення про доїння і годування [1].

Існують також два типи доїльних апаратів : з функцією керування процесом доїння; без функції керування процесом доїння.

Типовий алгоритм роботи доїльного апарату з функцією керування доїнням полягає в наступному. Після одягання доїльних стаканів дояр запускає доїльний апарат, який на протязі детермінованого часу  здійснює стимуляцію вимені. Стимуляція вимені полягає в формуванні пульсуючого вакууму певної частоти та шпаруватості у доїльних стаканах. Після закінчення фази стимуляції відбувається перехід до фази некерованого доїння. Під час цієї фази на протязі певного детермінованого часу некерованого доїння  інтенсивність молоковиділення не вимірюється. По закінченню цього часу здійснюється перехід до фази керованого доїння, під час якої здійснюється вимірювання інтенсивності молоковиділення, і в залежності від її значення, встановлюються частота і шпаруватість пульсацій вакууму у доїльних стаканах на протязі випадкового часу керованого доїння . Після того, як інтенсивність молоковиділення стала нижче певного значення (як правило це 200 г/хв), відбувається перехід до фази додоювання, під час якої на протязі детермінованого часу додоювання  здійснюється додаткова стимуляція вимені. По закінченні фази додоювання здійснюється автоматичне зняття доїльного апарату.

Типовий алгоритм роботи доїльного апарату без функції керування процесом доїння полягає в наступному. Після одягання доїльних стаканів,

дояр візуально оцінює інтенсивність молоковиділення та стан вимені, і за певними ознаками робить суб'єктивний висновок про закінчення доїння і необхідність зняття доїльних стаканів. Таким чином, час тривалості доїння  $\square$  при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння є повністю випадковою величиною.

При доїнні за допомогою доїльних роботів використовуються виключно доїльні апарати з функцією керування процесом доїння. При прив'язному та безприв'язному утриманні тварин можливе використання двох типів доїльних апаратів.

Авторами були проведені дослідження тривалості доїння при використанні доїльного апарату без функції управління процесом доїння та тривалості фази керованого доїння при використанні доїльного апарату з функцією управління процесом доїння. В результаті проведення досліджень встановлено, що аналітична модель розподілу цих часових інтервалів, при використанні критерію згоди Пірсона, наближається до функції гамма-розподілу, яка визначається виразом [10] :

$$\square \dots \square$$

(4)

де  $\square$  - закон розподілу тривалості доїння при використанні доїльного апарату без функції керування доїнням та тривалості фази керованого доїння при використанні доїльного апарату з функцією керування доїнням;  $\square$  - параметри функції гамма-розподілу, які фактично є параметрами групи тварин, які залежать від способу їх утримання, типу доїльного апарату та інтервалу лактаційного періоду;

Математичне очікування для гамма-розподілу визначається виразом:

$$\square \dots \square$$

(5)

а дисперсія визначається виразом :

$$\square \dots \square$$

(6)

В результаті проведених досліджень встановлено, що математичне очікування та дисперсія тривалості фази керованого доїння при використанні доїльного апарату з функцією керування доїнням мають менше значення ніж математичне очікування та дисперсія часу доїння при використанні доїльного апарату без функції керування доїнням.

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

$$\square = \square + \square + \square + \square + \square, \quad (7)$$

математичне очікування цього часу визначається виразом:

$$\square = \square + \square + \square + \square + \square, \quad (8)$$

а дисперсія цього часу

$$\square \quad (9)$$

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.

$$\square = \square + \square. \quad (10)$$

Ці дві випадкові величини є незалежними, тому закон розподілу їх суми  $\square$  знаходиться як згортка їх законів розподілу [11]:

$$\square \dots \square \quad (11)$$

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

$$\square \quad (12)$$

а дисперсія

$$\square \quad (13)$$

Час доїння з використанням доїльного апарату з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу підготовки тварини до доїння, часу стимуляції, часу некерованого доїння, часу керованого доїння, часу додоювання:

$$\square = \square + \square + \square + \square + \square. \quad (14)$$

Випадковими величинами у виразі (14) є час підготовки тварини та час керованого доїння, закон розподілу суми яких визначається виразом (11). Математичне очікування часу доїння з використанням доїльного апарату з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$\square = \square + \square + \square + \square, \quad (15)$$

а дисперсія

$$\square \quad (16)$$

За допомогою виразів (7-16) описуються статистичні моделі тривалості машинного доїння при використанні доїльного робота, доїльного апарату з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння.

#### 4. Висновки

1. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що часовий інтервал технологічного процесу підготовки тварини до доїння має хи-квадрат закон розподілу.

2. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що часовий інтервал тривалості доїння при використанні доїльного апарату без функції управління доїнням та часовий інтервал керованого доїння при використанні доїльного апарату 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 управління доїнням, доїльного апарату з функцією керування доїнням.

### **Література**

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

### **Referenses**

1. Tsoy, Y.A. Processy i oborudovanie doilno-molchnih otdeleniy zhitovnovodcheskih ferm.-M.: GNU VIESH, 2010. - 424.
2. Katalog produktov i uslug DeLaval, 2011, 372.
3. De Monmollen N. Sistemy "chelovek-mashina".-M.:Mir, 1973, 256.
4. Bilibin E.B. Metodicheskie rekomendacii po tehnologicheskomu raschetu konveernih doilnih ustanovok molochnih ferm promishlennogo tipa.- M.: VIESH, 1977. - 32.
5. Bilibin E.B. Metodicheskie rekomendacii po tehnologicheskomu raschetu doilnih ustanovok "Elochka" molochnih ferm promishlennogo tipa.- M.: VIESH, 1978. - 32.
6. Viktorova I.N., Paleckov E.N. Rasche nekotoryh parametrov konveernyh doilnih ustanovok // Mehanizaciya i elektrifikaciya socialisticheskogo selskogo hozyaystva, 1974, № 4, 19-21.
7. Gelshteyn Z.I., Vilcans A.Y., Laure A.R., Lusic M.Y. Utochnenniy raschet proizvoditelnosti doilnih ustanovok // Mehanizaciya i elektrifikaciya socialisticheskogo selskogo hozyaystva, 1973, № 10, 18-23.
8. Krashakov I.S. Proizvoditelnost doilnih ustanovok "Karusel" // Mehanizaciya i elektrifikaciya socialisticheskogo selskogo hozyaystva, 1973, № 10, 24-28.
9. Novickiy P.V., Zograf I.A. Ocenka pogreshnostey rezultatov izmereniy.- 2 izd., per. i dop. - L.: Energoatomizdat. Leningr. otdelenie, 1991. - 304 s.: il.
10. Tihonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Radio i svyaz, 1982. - 624.
11. V.S.Koroluk, N.I.Portenko, A.V.Skorohod, A.F.Turbin. Spravochnik po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike. - M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1985. - 640.



**Кучерук Володимир Юрійович**

Доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедри метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

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

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: kucheruk@mail.ru

**Паламарчук Євген Анатолійович**

Кандидат технічних наук, професор кафедри економічної кібернетики

Вінницький національний аграрний університет

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

Контактний тел. 0432-43-85-20

E-mail: evgen.pal@gmail.com

**Кулаков Павло Ігорович**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

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

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: kulakovpi@gmail.com

**Гнесь Тетяна Вікторівна**

аспірант кафедри метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

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

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: tata-1990@mail.ru

**Кучерук Владимир Юрьевич**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии и промышленной автоматике

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021

Контактный тел. 0432-59-86-72

E-mail: kucheruk@mail.ru

**Паламарчук Евгений Анатольевич**

Кандидат технических наук, профессор кафедры экономической кибернетики

Винницкий национальный аграрный университет

ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008

Контактный тел. 0432-43-85-20

E-mail: evgen.pal@gmail.com

**Кулаков Павел Игоревич**

Кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии и промышленной автоматике

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021

Контактный тел. 0432-59-86-72

E-mail: kulakovpi@gmail.com

**Гнесь Татьяна Викторовна**

аспирант кафедры метрологии и промышленной автоматике

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021

Контактный тел. 0432-59-86-72

E-mail: tata-1990@mail.ru

**Kucheruk Volodymyr**

Doctor of engineering, Professor, Head of the department of metrology and industrial automatics

Vinnitsa National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021

Contact tel. 0432-59-86-72

E-mail: kucheruk@mail.ru

**Palamarchuk Evgen**

Candidate of engineering, Professor of the department of economics cibernetics

Vinnitsa National Agrarian University

3 Solnechnaya str, Vinnytsia, Ukraine, 21008

Contact tel. 0432-43-85-20

E-mail: evgen.pal@gmail.com

**Kulakov Pavlo**

Candidate of engineering, assistant professor of the department of metrology and industrial automatics

Vinnitsa National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021

Contact tel. 0432-59-86-72

E-mail: kulakovpi@gmail.com

**Gnes Tatiana**

Postgraduate student of the department of metrology and industrial automatics

Vinnitsa National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021

Contact tel. 0432-59-86-72

E-mail: tata-1990@mail.ru