

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ТРИВАЛОСТІ МАШИННОГО ДОЇННЯ НА ГРУПОВИХ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

На основі проведених досліджень створено статистичні моделі тривалості машинного доїння на групових доїльних установках. Ці моделі встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння установок, параметрами доїльних установок, типом доїльного апарату, статистичними характеристиками процесу доїння.

Теоретичні результати підтверджено результатами експериментальних досліджень

Ключові слова: доїння, тривалість доїння, тривалість підготовки, статистична модель, групова доїльна установка

На основе проведенных исследований созданы статистические модели длительности машинного доения на групповых доильных установках. Эти модели устанавливают функциональную связь между статистическими характеристиками длительности доения установок, параметрами доильных установок, типом доильного аппарата, статистическими характеристиками процесса доения.

Теоретические результаты подтверждены результатами экспериментальных исследований

Ключевые слова: доение, длительность доения, длительность подготовки, статистическая модель, групповая доильная установка

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

*Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, Україна, 21021

1. Вступ

Найбільш перспективним способом утримання великого молочного стада в теперішній час вважається безприв'язне утримання [1]. При такому способі реалізується концепція «тварина керує харчуванням, людина керує доїнням». При безприв'язному утриманні доїння тварин здійснюється у спеціалізованих доїльних залах або майданчиках за допомогою доїльних установок, які обладнані стаціонарними доїльними станками.

Сучасне доїльно-молочне відділення тваринницької ферми не може ефективно функціонувати без систем автоматичного управління та інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока і інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин. Виходячи з цього, модернізація доїльних установок шляхом впровадження вищевказаних систем є актуальним завданням. При проектуванні нових та модернізації існуючих доїльних установок, особливо це стосується доїльних залів, висуваються високі вимоги до визначення їх продуктивності, що на практиці реалізувати важко. Саме з цієї причини виробники доїльного обладнання часто не наводять чисельного значення продуктивності, або наводять його з невисокою точністю

[1, 2]. Для визначення продуктивності установки домінуюче значення має тривалість машинного доїння. Невисока точність визначення продуктивності установки в першу чергу зумовлена недосконалістю існуючих статистичних моделей тривалості машинного доїння. Окрім того, продуктивність доїльної установки та тривалість машинного доїння в значній мірі впливають на структуру та характеристики інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока і зоотехнічних параметрів тварин.

Таким чином, подальше вдосконалення статистичних моделей тривалості машинного доїння різних доїльних установок є важливим та актуальним завданням. Проведені дослідження відносяться до теорії та практики проектування, модернізації і автоматизації доїльних залів.

2. Постановка проблеми

В теперішній час відомі статистичні моделі тривалості машинного доїння доїльних установок для доїльних залів не забезпечують достатню точність визначення їх продуктивності і потребують подальшого вдосконалення [1]. Виходячи з цього, існує необхідність створення нових статистичних моделей трива-

лості машинного доїння, які з більшою адекватністю встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння та типом доїльної установки, кількістю доїльних станків, типом та алгоритмом роботи доїльного апарату, кількістю тварин. Наслідком впровадження таких моделей буде підвищення точності визначення продуктивності доїльних установок при проектуванні або модернізації. Окрім того, створення таких моделей дозволить розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока, інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин та систем автоматичного управління фермою при безприв'язному утриманні тварин.

3. Літературний огляд

Найбільш розповсюдженими у теперішній час доїльними установками для доїльних залів при безприв'язному утриманні тварин є «Тандем», «Паралель», «Ялинка» та конвеєрна установка «Карусель» [1]. «Паралель» та «Ялинка» є груповими доїльними установками, на яких здійснюється послідовне видоювання груп тварин певної кількості. Вони уявляють собою установки з стаціонарними доїльними станками, тварини в яких розташовані вздовж двох сторін трашеї, в якій знаходяться два дояри, по одному на кожну сторону. Вхід та вихід тварин здійснюється групами, кількість тварин у групі як правило дорівнює кількості доїльних станків. Після входу тварин дояр готує першу тварину до доїння, вдягає їй доїльний апарат та переходить до наступної тварини, потім до третьої і т. д. Після закінчення доїння усі тварини здійснюють вихід з установки і на їх місце входить наступна група.

Тривалість доїння у доїльному залі залежить від зоотехнічних параметрів тварин, їх кількості, селекційної підібраності, тривалості підготовки тварини до доїння та тривалості доїння, типу доїльних апаратів, кількості доїльних станків, конструкції проходів. В роботах [1, 3, 4] розглянуто процес підготовки тварини до доїння і пропонується вважати постійною його тривалість. Такий підхід не є досконалим, тому що тривалість підготовки тварини є випадковою величиною, яка залежить від ряду факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру. Інтервал часу, за який здійснюється видоювання тварини, також є випадковою величиною. У роботах [5–7] пропонується в якості статистичної моделі часового інтервалу тривалості доїння використовувати нормальний закон розподілу. 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 дорівнювати нулю. У роботі [1] наводяться результати досліджень, на основі яких пропонується вважати тривалість видоювання тварини випадковою величиною розподіленою за логнормальним законом. Але у цьому випадку не враховується час мінімальної роботи доїльного апарату, який має детерміноване значення, та не враховується можливість доїння сухостійних тварин. Окрім того, за спостереженням авторів, закон розподілу часу видоювання тварини наближається до

логнормального, якщо тварини розподілені на велику кількість груп у відповідності до стадії їх лактаційного періоду, що на практиці практично не виконується.

В роботі [8] наведено результати експериментальних досліджень часу підготовки тварини до доїння та часу видоювання тварини при різних типах доїльних апаратів. У цій роботі визначено, що часовий інтервал технологічного процесу підготовки тварин до доїння має хі-квадрат розподіл, а 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 має гамма-розподіл. У роботі [9] створено статистичну модель тривалості машинного доїння стійлової доїльної установки на основі результатів досліджень, наведених у [8]. У роботі [10] розглянуто роботу конвеєрної доїльної установки на основі результатів, наведених у [1, 3, 4].

Актуальним завданням є створення статистичних моделей тривалості доїння групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель» на основі результатів отриманих у [8].

4. Цілі та задачі дослідження

Ціллю дослідження є створення уточнених статистичних моделей, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель» і статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату. Моделі необхідно створити на основі експериментальних результатів дослідження тривалості доїння та підготовки тварини. Створені моделі дозволять збільшити точність розрахунку продуктивності доїльних установок при їх проектуванні або модернізації, розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та систем автоматичного управління фермою, забезпечити подальший розвиток теорії таких систем.

Завданням дослідження є аналіз циклограм роботи групових доїльних установок, встановлення функціонального зв'язку між статистичними характеристиками тривалості доїння групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель» та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату. Результати проведених теоретичних досліджень необхідно підтвердити експериментальними даними для встановлення ступеню їх адекватності.

5. Створення статистичних моделей тривалості доїння на групових доїльних установках

Розглянемо циклограму роботи доїльних установок «Ялинка» та «Паралель», яку наведено на рис. 1. Алгоритм роботи цих установок повністю співпадає, різниця полягає в різному розташуванні тварин. На «Паралелі» тварини розташовані паралельно в доїль-

них станках та перпендикулярно робочій зоні дояра, на «Ялинці» – паралельно у доільних станках та під певним кутом до робочої зони дояра.

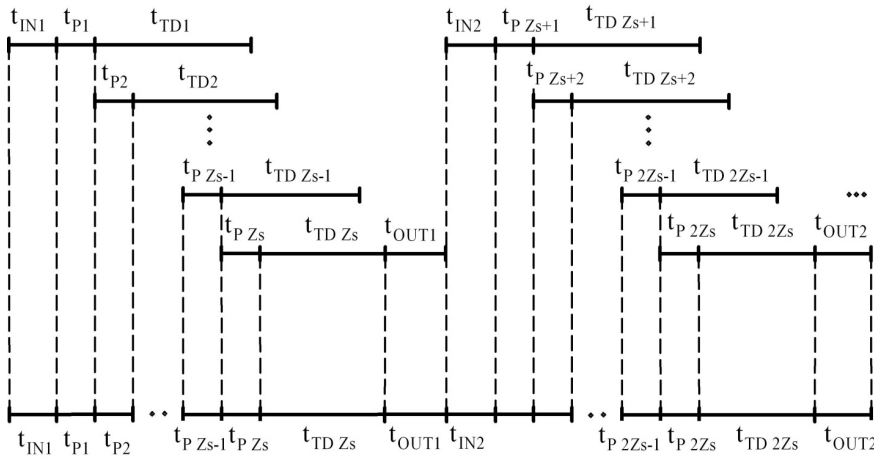


Рис. 1. Циклограма роботи доільних установок «Ялинка» та «Паралель»

Доільні станки, які входять до складу доільної установки, знаходяться по обидві сторони робочої зони доярів. Кожну сторону обслуговує один дояр, кількість станків, які обслуговуються одним дояром дорівнює Z_s . Розглянемо роботу однієї сторони робочої зони, тому як з обох сторін технологічні операції виконуються одночасно і аналогічно. На протязі часу t_{INi} в доільні станки однієї робочої зони входить Z_s тварин. Після цього дояр готує першу тварину до доїння протягом часу t_{Pi} , далі починається процес її доїння протягом часу t_{TDi} , а дояр переходить до наступної тварини і виконує аналогічні операції. Після того, як закінчиться доїння усіх тварин у станках, вони виходять з установки протягом часу t_{OUTi} . Далі виконується доїння наступної групи тварин. Цей процес продовжується до тих пір, поки не буде завершено доїння усіх тварин в стаді. Як впливає з наведеної циклограми, тривалість доїння i -тої групи тварин кількістю визначається виразом

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

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості доїння i -тої групи тварин кількістю Z_s . Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження групи тварин на установку та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварин з установки розглянуті у [11]. Дані характеристики залежать від кількості доільних станків Z_s , кількості тварин, типу доільної установки, способу входу тварин, способу виходу тварин, конструкції проходів та конструкції вхідних і вихідних воріт. Вони визначаються як величини прямо пропорційні емпіричним коефіцієнтам, які залежать від вищевказаних параметрів, та кількості доільних станків Z_s .

Математичне очікування M_{PD} часу t_{Pi} тривалості підготовки тварини та дисперсія цього часу D_{PD} визначаються виразами [8]

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

$$D_{PD} = \int_0^{\infty} \frac{(t-k)^2 t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}}{2^2 \Gamma(k/2)} dt = 2k, \quad (3)$$

де t – час; k – параметр хі-квадрат розподілу; $\Gamma(z)$ – гамма-функція Ейлера.

Математичне очікування M_{TD} часу t_{TDi} тривалості доїння та дисперсія цього часу D_{TD} визначаються виразами [8]

$$M_{TD} = \int_0^{\infty} \frac{t^{l+1} e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m(l+1), \quad (4)$$

$$D_{TD} = \int_0^{\infty} \frac{(t-m(l+1))^2 t^l e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m^2(l+1), \quad (5)$$

де l , m – параметри гамма-розподілу.

Виходячи з цього, математичне очікування M_{Gi} та дисперсія D_{Gi} тривалості доїння i -тої групи тварин кількістю Z_s визначається виразами

$$M_{Gi} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_s M_{PD} + M_{TD}, \quad (6)$$

$$D_{Gi} = D_{IN} + D_{OUT} + Z_s D_{PD} + D_{TD}. \quad (7)$$

На доільних установках типу «Ялинка та «Паралель» можливе використання двох типів доільних апаратів: з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. У роботі [8] встановлено, що математичне очікування тривалості доїння однієї тварини з використанням доільних апаратів з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{TD} = t_s + t_{ND} + t_m m(l+1), \quad (8)$$

де t_s – детермінований час стимуляції вимені, t_{ND} – детермінований час фази некерованого доїння, t_m – детермінований час, протягом якого здійснюється масаж вимені.

Підставивши (2) та (8) в (6) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості доїння i -тої групи тварин кількістю Z_s при використанні доільного апарату з функцією керування процесом доїння

$$M_{GKi} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_s k + t_s + t_{ND} + t_m m(l+1). \quad (9)$$

Дисперсія тривалості доїння однієї тварини з використанням доільних апаратів з функцією керування

процесом доїння, у відповідності з [8], визначається виразом (5), а дисперсія часу підготовки тварини - виразом (3). Підставивши (5) та (3) в (7), отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості доїння і -тої групи тварин кількістю Z_S при використанні доїльного апарату з функцією керування процесом доїння

$$D_{GKI} = D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_S k + m^2(1+1). \tag{10}$$

При використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння, математичне очікування тривалості доїння визначається виразом (4). Підставивши (2) та (4) в (6) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості доїння і-тої групи тварин кількістю Z_S при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння

$$M_{GNI} = M_{IN} + M_{OUT} + Z_S k + m(1+1). \tag{11}$$

Дисперсія D_{GNI} тривалості доїння і -тої групи тварин кількістю Z_S при використанні доїльного апарату без функції керування процесом доїння визначається також виразом (10), тому як дисперсія детермінованих часових інтервалів t_S , t_{ND} та t_M дорівнює нулю [12].

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Ялинка» або «Паралель» при використанні обох типів доїльних апаратів. Для цього знайдемо кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється однією стороною доїльної установки, при умові, що потоки тварин рівномірно розподілені між сторонами. При парній кількості тварин в стаді обидва дояра виконують видоювання однакової кількості тварин, при непарній кількості тварин одним з доярів буде видоєно на одну тварину більше. Відповідно, загальна тривалість доїння на цій стороні буде більша. Для оцінки тривалості роботи всієї установки розглянемо саме цей, найгірший варіант.

$$K_V = \begin{cases} K/2, \{K/2\} = 0, \\ (K+1)/2, \{K/2\} \neq 0, \end{cases} \tag{12}$$

де K – загальна кількість тварин в стаді.

Кількість групових доїнь по Z_S тварин в кожній групі визначається виразом

$$K_G = \lceil K_V / Z_S \rceil. \tag{13}$$

Кількість тварин у останній групі, яка буде неповною якщо K_V не кратне Z_S , визначається виразом

$$K_O = Z_S \{K_V / Z_S\}. \tag{14}$$

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

$$M_{UK} = K_G (M_{IN} + M_{OUT} + Z_S k + t_S + t_{ND} + t_M + m(1+1)) + M_{INO} + M_{OUTO} + K_O k + t_S + t_{ND} + t_M + m(1+1), \tag{15}$$

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

Дисперсія тривалості доїння установки у цьому випадку буде визначатися виразом

$$D_{UK} = K_G (D_{IN} + D_{OUT} + 2Z_S k + m^2(1+1)) + D_{INO} + D_{OUTO} + 2K_O k + m^2(1+1), \tag{16}$$

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

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

$$M_{UN} = K_G (M_{IN} + M_{OUT} + Z_S k + m(1+1)) + M_{INO} + M_{OUTO} + K_O k + m(1+1). \tag{17}$$

Тому як дисперсія детермінованих інтервалів t_S , t_{ND} та t_M дорівнює нулю [12], дисперсія D_{UN} тривалості доїння стада при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом (16).

Таким чином, вирази (12)–(14), (16), (17) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K тварин за допомогою доїльних установок типу «Ялинка» або «Паралель» при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (12)–(16) – при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння. Закон розподілу тривалості машинного доїння на доїльних установках типу «Ялинка» та «Паралель» в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [13].

6. Апробація результатів досліджень

Експериментальні дослідження тривалості доїння групової доїльної установки «Ялинка» проводилися в ДП «Артеміда», м. Калинівка, Калинівського району Вінницької області (Україна). Досліджувана доїльна установка має структуру 2x8, тобто вісім доїльних станків на одного дояра. Доїльні станки обладнані блоками управління доїнням «Bigmilk» виробництва ВАТ «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння. Досліджуване стадо складалося з 372 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи установки визначалися за вибіркою з 450 спостережень. В результаті досліджень встановлено, що експериментальне математичне очікування тривалості доїння установки $M_{UKE} = 17448$ с, а дисперсія $D_{UKE} = 126520$ с².

Теоретичний розрахунок M_{UK} та D_{UK} проводився на основі наступних експериментальних параметрів. В роботі [8] встановлено, що при безприв'язному утри-

манні $M_{PD}=28$ с, $D_{PD}=56$ с², а математичне очікування тривалості доїння при використанні вищевказаного доїльного апарату з функцією керування процесом доїння $M_{TD}=326$ с, дисперсія $D_{TD}=3801$ с². Статистичні характеристики тривалості входу та виходу тварин $M_{IN}=96$ с, $M_{OUT}=32$ с, $D_{IN}=310$ с², $D_{OUT}=92$ с², $M_{INO}=24$ с, $M_{OUTO}=8$ с, $D_{INO}=76$ с², $D_{OUTO}=24$ с², кількість доїльних станків на одного дояра $Z_s=8$. В результаті теоретичного розрахунку $M_{UK}=16008$ с, $D_{UK}=110986$ с².

Відносна оцінка розбіжності між експериментальним та теоретичним значенням математичного очікування тривалості доїння установки визначалась за виразом

$$M_v = \frac{M_{UKE} - M_{UK}}{M_{UKE}} \cdot 100 \% \quad (18)$$

Відносна оцінка розбіжності між експериментальним та теоретичним значенням дисперсії тривалості доїння установки визначалась за виразом

$$D_v = \frac{D_{UKE} - D_{UK}}{D_{UKE}} \cdot 100 \% \quad (19)$$

В результаті розрахунку за виразами (18) та (19) встановлено що, $M_v = 8.25$ %, $D_v = 12.27$ %. Отримані

значення відносної оцінки розбіжності свідчать про адекватність створеної статистичної моделі.

7. Висновки

В даній роботі створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель» та статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату.

Запропоновані моделі створено на основі нового підходу до оцінки статистичних характеристик часу підготовки тварини та часу видоювання тварини. Це дозволить збільшити точність розрахунку продуктивності доїльних установок при їх проектуванні або модернізації, дозволить розробити методіку проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та систем автоматичного управління фермою, забезпечити подальший розвиток теорії таких систем.

Адекватність створених моделей підтверджена шляхом визначення відносної оцінки розбіжності між результатами теоретичних розрахунків та експериментальними даними.

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. Тесленко, И. И. Расчет и технологический анализ этапов организации процессов доения [Текст] / И. И. Тесленко, И. И. Тесленко // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2 (6). – С. 93–97.
5. Тареева, О. А. Потоки животных на конвейерных доильных установках и модель продолжительности выдаивания [Текст] / О. А. Тареева // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – 2011. – Т. 2, № 2 (3). – С. 183–193.
6. 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.
7. 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.
8. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 3, № 1 (67). – С. 4–7.
9. Кучерук, В. Ю. Статистична модель тривалості машинного доїння на стійловій доїльній установці [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4, № 2 (68). – С. 31–37.
10. Тареева, О. А. Алгоритмизация циклообразной работы конвейерной доильной установки [Текст] / О. А. Тареева // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – 2011. – Т. 2, № 6 (7). – С. 132–142.
11. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. – М.: ВИЭСХ, 1978. – 32 с.
12. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст]: произв. изд. / П. В. Новицкий, И. А. Зограф; -Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
13. Королюк, В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст]: справочник / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.