

На основі проведених досліджень створено статистичні моделі тривалості машинного доїння на конвеєрних доїльних установках. Ці моделі встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи установок та статистичними характеристиками процесу доїння, параметрами доїльних установок, типом доїльного апарату, кількістю тварин у стаді. Теоретичні результати підтверджено результатами експериментальних досліджень

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

На основе проведенных исследований созданы статистические модели длительности машинного доения на конвейерных доильных установках. Эти модели устанавливают функциональную связь между статистическими характеристиками длительности работы установок и статистическими характеристиками процесса доения, параметрами доильных установок, типом доильного аппарата, количеством животных в стаде. Теоретические результаты подтверждены результатами экспериментальных исследований

Ключевые слова: длительность доения, длительность подготовки, статистическая модель, доильная установка, конвейерная установка

УДК 681.586

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28951

РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТРИВАЛОСТІ ДОЇННЯ НА КОНВЕЄРНИХ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

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

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

1. Вступ

Найбільш перспективним та продуктивним способом утримання великого молочного стада вважається безприв'язне утримання, при якому забезпечується принцип «тварина керує харчуванням, людина керує доїнням» [1]. При такому способі утримання, доїння тварин здійснюється у спеціалізованих доїльних залах за допомогою доїльних установок, які обладнані стаціонарними доїльними станками. Серед усіх відомих варіантів доїльних установок для доїльних залів, конвеєрні установки забезпечують найвищу продуктивність при мінімізації трудомісткості технологічних операцій обслуговування тварин у доїльно-молочному відділенні ферми. Основними перевагами конвеєрних установок є мінімальна відстань переходу тварини з доїльного залу до доїльного станка, фіксовані робочі місця доярів, безперервний режим роботи, можливість зміни кутової швидкості платформи конвеєра у відповідності з характеристиками групи тварин, просте управління потоками тварин [2].

В теперішній час неможливе ефективне функціонування ферм з великою кількістю тварин без систем автоматичного управління технологічним

процесом, до складу яких входять інформаційно-вимірювальні системи параметрів технологічного процесу та інформаційно-вимірювальні системи зоотехнічних параметрів тварин. Виходячи з цього, актуальним завданням є модернізація існуючих ферм та доїльних установок шляхом впровадження вищевказаних систем. Проектування нових та модернізація існуючих доїльних установок потребує високоточного визначення їх продуктивності, що на практиці реалізувати важко. Тому виробники доїльного обладнання часто не наводять чисельного значення продуктивності, або наводять його з невисокою точністю [1, 3]. Основним параметром, необхідним для визначення продуктивності установки, є тривалість машинного доїння. Невисока точність визначення продуктивності установки в першу чергу зумовлена недосконалістю існуючих статистичних моделей тривалості машинного доїння. Продуктивність доїльної установки та тривалість машинного доїння також в значній мірі впливають на структуру та характеристики інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин.

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

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У теперішній час, на молочних фермах з великою кількістю тварин використовують конвеєрні доїльні установки, до яких відносяться установки «Карусель» та «Юнілактор». Особливістю цих доїльних установок є те, що тварини рухаються разом з доїльними станками під час доїння, а дояр залишається на одному місці. Поточна лінія доїння тварин на основі доїльних конвеєрів за принципом дії та функціональним призначенням найбільш близька до поточних ліній машинобудівних підприємств з масовим крупносерійним виробництвом. У відповідності з існуючою класифікацією, доїльний конвеєр можна віднести до класу прямоточних однопредметних безперервно-поточних ліній з робочим конвеєром [4]. Тривалість доїння у доїльному залі залежить від типу доїльної установки, зоотехнічних параметрів тварин у стаді, їх кількості, селекційної підібраності, тривалості підготовки тварини до доїння та тривалості доїння, типу доїльних апаратів, кількості доїльних станків, конструкції проходів. У роботах [1, 5, 6] розглянуто процес підготовки тварин до доїння на різних доїльних установках і пропонується його тривалість вважати постійною. Тривалість підготовки тварини є випадковою величиною, яка залежить від ряду факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру, тому такий підхід не є досконалим. Інтервал часу, за який здійснюється видоювання тварини, є випадковою величиною, який залежить від зоотехнічних параметрів тварин та типу доїльного апарату [1]. У роботах [7–9] пропонується в якості статистичної моделі часового інтервалу тривалості доїння використовувати нормальний закон розподілу та здійснювати прогнозування тривалості доїння за допомогою квадратичної регресії. Нормальний закон розподілу не відображає характерну особливість часового інтервалу тривалості доїння, а саме те, що його тривалість не може бути меншою за певну величину або дорівнювати нулю. У роботі [1] 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, і не враховується можливість доїння сухостійних тварин. Окрім того, згідно роботи [10], 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 не виконується. У роботі [10] також 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 χ^2 -квадрат розподіл, а часовий інтервал тривалості доїння при використанні доїльних апаратів без функції управління доїнням та часовий інтервал керуваного доїння при використанні доїльних апаратів з функцією керування доїнням має гамма-розподіл. На основі результатів, наведених у [10], у роботі [11] створено статистичну модель тривалості машинного доїння стійлової доїльної установки, а у роботі [12] – статистичну модель тривалості машинного доїння групових доїльних установок. У роботі [13] проведено аналіз роботи конвеєрних доїльних установок на основі результатів, наведених у [1, 5, 6].

Відомі статистичні моделі тривалості роботи доїльних установок для доїльних залів та майданчиків, в тому числі і конвеєрних установок, які використовуються при безприв'язному утриманні тварин, не забезпечують достатню точність визначення їх продуктивності і потребують подальшого вдосконалення [1, 3, 6]. Відповідно, існує необхідність створення нових статистичних моделей, які з більшим ступенем адекватності встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи установки та статистичними характеристиками процесу доїння, параметрами доїльної установки, кількістю доїльних станків, типом та алгоритмом роботи доїльного апарату, кількістю тварин. Результатом впровадження таких моделей буде підвищення точності визначення продуктивності доїльних установок при їх проектуванні або модернізації. Окрім того, створення таких моделей дозволить створити алгоритми оптимізації роботи конвеєра установки, розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока, інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин та систем автоматичного управління фермою.

3. Цілі та задачі дослідження

Ціллю дослідження є створення уточнених статистичних моделей, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи конвеєрних доїльних установок з 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 статистичних характеристик тривалості доїння та підготовки тварини на основі даних, наведених у [10].

Завданням дослідження є аналіз циклограм роботи конвеєрних доїльних установок, встановлення функціонального зв'язку між статистичними характеристиками тривалості роботи конвеєрних доїльних установок з 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.

4. Розробка статистичних моделей тривалості машинного доїння на конвеєрних доїльних установках

Розглянемо циклограму роботи конвеєрної доїльної установки, яка наведена на рис. 1.

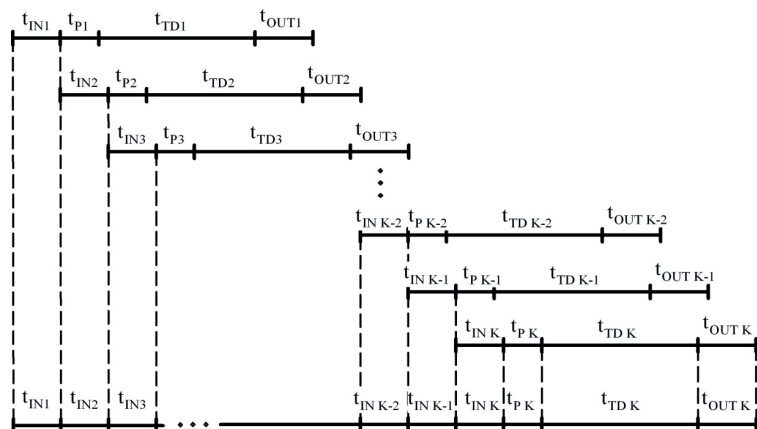


Рис. 1. Циклограма роботи конвеєрної доїльної установки

Типовий алгоритм роботи конвеєрної доїльної установки полягає в наступному. Доїльна платформа обертається з постійною номінальною кутовою швидкістю ω_k . Тварини по черзі заходять на платформу і розміщуються у доїльних станках, дояр здійснює процес підготовки тварини до доїння, який має тривалість t_{pi} , після чого вдягає доїльний апарат і починається процес доїння, тривалістю t_{TDi} . Максимальне значення тривалості інтервалу підготовки тварини t_{pi} регламентується технічними умовами експлуатації установки. Вихід тварин з платформи здійснюється тоді, коли платформа здійснить майже повний оберт. До цього моменту видоювання тварини повинно бути закінчено. Цей процес продовжується циклічно до тих пір, поки не закінчиться видоювання усіх тварин у групі. Циклограми роботи доїльних установок «Карусель» та «Юнілактор» повністю співпадають, відмінність між вищевказаними установками полягає в принципово різних конструкціях платформ з доїльними станками.

Як впливає із аналізу циклограми, тривалість доїння групи з K тварин визначається виразом

$$T_{DK} = t_{PK} + t_{TDK} + t_{OUTK} + \sum_{i=1}^K t_{INi}, \tag{1}$$

де t_{INi} – час, за який тварина входить на платформу у доїльний станок; t_{OUTi} – час, за який тварина виходить з доїльного станка на платформі.

Математичне очікування M_{PD} часу t_{pi} тривалості підготовки тварини та дисперсія цього часу D_{PD} визначаються виразами [10]

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

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

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 [10]

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

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

де l, m – параметри гамма-розподілу.

Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження тварини в доїльний станок та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварини з доїльного станка розглянуті у [9].

Змінивши у виразі (1) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає математичне очікування M_{DK} тривалості роботи конвеєрної доїльної установки

$$M_{DK} = M_{PD} + M_{TD} + M_{OUT} + M_{IN}K. \tag{6}$$

Відповідно, змінивши у виразі (1) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає дисперсію D_{DK} тривалості роботи конвеєрної доїльної установки

$$D_{DK} = D_{PD} + D_{TD} + D_{OUT} + D_{IN}K. \tag{7}$$

На конвеєрних доїльних установках можливе використання двох типів доїльних апаратів: з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. У роботі [10] встановлено, що математичне очікування тривалості доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом (4), а з функцією керування процесом доїння визначається виразом

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

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

Також у роботі [10] встановлено, що дисперсія тривалості доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів без функції керування процесом доїння та з функцією керування процесом доїння визначається виразом (5).

Підставивши (2) та (4) в (6) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$M_{DK} = k + m(l+1) + M_{OUT} + M_{IN}K. \tag{9}$$

Підставивши (2) та (8) в (6) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{DK} = k + t_s + t_{ND} + t_M + m(1+1) + M_{OUT} + M_{IN}K. \quad (10)$$

Підставивши (3) та (5) в (7) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів з функцією та без функції керування процесом доїння

$$D_{DK} = 2k + m^2(1+1) + D_{OUT} + D_{IN}K. \quad (11)$$

Таким чином, вирази (9) та (11) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K тварин, за допомогою конвеєрної доїльної установки при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (10) та (11) – при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

Закон розподілу тривалості роботи конвеєрної доїльної установки з в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [14].

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

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{Z_S}. \quad (12)$$

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

$$\varphi_K = 2\pi - \varphi_0 = 2\pi \left(1 - \frac{1}{Z_S}\right). \quad (13)$$

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

$$t_K > t_{pi} + t_{TDi}. \quad (14)$$

Визначення часу t_K здійснюється за виразом

$$t_K = (M_{PD} + M_{TD}) \cdot \eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD}), \quad (15)$$

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

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

$$\omega_K = \frac{\varphi_K}{t_K} = \frac{2\pi \left(1 - \frac{1}{Z_S}\right)}{(M_{PD} + M_{TD}) \cdot \eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD})}. \quad (16)$$

При наявності в групі тугодійних тварин можлива ситуація, коли тривалість доїння t_{TDi} перевищить час, за який платформа буде встановлена в положення виходу тварини. У цьому випадку тварина у доїльному станку буде робити ще один оберт разом з платформою, і тривалість її знаходження у станку збільшиться в два рази. Це приведе до порушення черги тварин, порушення безперервності роботи конвеєра, втрат часу і технологічної затримки роботи доїльної установки. Мінімізувати вплив наявності тугодійних тварин на продуктивність роботи конвеєрної доїльної установки можна шляхом впровадження регульованого приводу доїльної платформи на основі статистичних показників тривалості доїння групи тварин.

5. Апробація результатів досліджень

Експериментальні дослідження тривалості роботи дослідної конвеєрної доїльної установки «Карусель» проводилися у приватному фермерському господарстві у с. Чуків Немирівського району Вінницької області (Україна). Досліджувана доїльна установка має 16 доїльних станків. Доїльні станки обладнані блоками управління доїнням «Bigmilk» виробництва ВАТ «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння і у яких $t_s = 15$ с, $t_{ND} = 30$ с, $t_M = 30$. Досліджуване стадо складалося з 264 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи визначалися за вибіркою з 450 спостережень.

Теоретичний розрахунок M_{DK} та D_{DK} проводився на основі наступних експериментальних параметрів. В роботі [10] встановлено, що при безприв'язному утриманні $M_{PD} = 28$ 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 $M_{IN} = 36$ с, $M_{OUT} = 86$ с², $D_{OUT} = 86$ с², коефіцієнт $\eta(M_{TD}, M_{PD}, D_{TD}, D_{PD}) = 1.3$, $t_K = 558$ с, $\omega_K = 0.01$ рад/с.

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

$$M_V = \frac{|M_{DKE} - M_{DK}|}{M_{DK}} \cdot 100\%. \quad (17)$$

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

$$D_V = \frac{|D_{DKE} - D_{DK}|}{D_{DK}} \cdot 100\%. \quad (18)$$

Результати порівняння експериментальних даних та теоретичних розрахунків статистичних характеристик тривалості роботи досліджуваної конвеєрної доїльної установки наведені у табл. 1.

В результаті розрахунку за виразами (17) та (18) встановлено що, відносна оцінка розбіжності експериментального та теоретичного значення математичного

очікування тривалості доїння складає $M_v = 12.03\%$, а відносна оцінка розбіжності експериментального та теоретичного значення дисперсії тривалості доїння складає $D_v = 14.71\%$. Отримані значення відносної оцінки розбіжності свідчать про адекватність розробленої статистичної моделі.

Таблиця 1

Порівняння експериментальних даних та теоретичних розрахунків тривалості роботи досліджуваної доїльної установки

Параметр	Математичне очікування тривалості доїння	Дисперсія тривалості доїння
Експериментальне значення	$M_{DKE}=11313$ с	$D_{DKE}=30567$ с ²
Теоретичне значення	$M_{DK}=10098$ с	$D_{DK}=26647$ с ²

6. Висновки

В даній роботі створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між

статистичними характеристиками тривалості роботи конвеєрної доїльної установки з 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. Окрім того, точність теоретичних розрахунків статистичних характеристик тривалості доїння більша, ніж при використанні інших методів. Так у роботах [1, 3] аналогічні показники доїльної установки наводяться з відносною розбіжністю 20–30 %.

Література

1. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
2. Кирсанов, В. В. Оптимизация управления работой конвейерно-кольцевых доильных установок [Текст] / В. В. Кирсанов, Р. Ф. Филонов, О. А. Тареева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2 (6). – С. 79–88.
3. Каталог продуктов и услуг ДеЛаваль [Текст] / ДеЛаваль, 2011. – 372 с.
4. Кузин, Б. И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения [Текст] / Б. И. Кузин. – Л. : Машиностроение, 1977. – 184 с.
5. Де Монмоллен, Н. Системы «человек-машина» [Текст] / Н. Де Монмоллен. – М.: Мир, 1973. – 256 с.
6. 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.
7. 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.
8. Berry, D. P. Factors associated with milking characteristics in dairy cows [Text] / D. P. Berry, B. Coughlan, B. Enright, S. Coughlan, M. Burke // Journal of Dairy Science. – 2013. – Vol. 96, Issue 9. – P. 5943–5953. doi: 10.3168/jds.2012-6162
9. Edwards, J. P. Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows [Text] / J. P. Edwards, J. G. Jago, N. Lopez-Villalobos // Journal of Dairy Science. – 2014. – Vol. 97, Issue 1. – P. 259–269. doi: 10.3168/jds.2013-7051
10. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 3 (67). – С. 4–7. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/20080/19251>
11. 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-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 2, № 4 (68). – С. 31–37. Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/23120/20941>
12. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння на групових доїльних установках [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 4, № 4 (70). – С. 13–17. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26287
13. 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.
14. 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.