

В.Ю. Кучерук, д.т.н., професор
Є.А. Паламарчук, к.т.н., професор
П.І. Кулаков, к.т.н., доцент
О.М. Возняк, к.т.н., доцент
Є.А. Марчук

АЛГОРИТМ МІНІМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ РОБОТИ КОНВЕЄРНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Вінницький національний технічний університет, e-mail: kucheruk@mail.ru, kpi@inbox.vn.ua

В даній статті розглядається алгоритм мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки шляхом встановлення оптимального часу обертання доїльної платформи за допомогою електроприводу змінної швидкості. Кутова швидкість доїльної платформи встановлюється на основі прогнозування максимальної тривалості доїння тварин, що знаходяться на платформі. Прогноз здійснюється на основі результатів вимірювання зоотехнічних параметрів тварин.

Ключові слова: конвеєрна доїльна установка, тривалість доїння, зоотехнічні параметри тварини, доїльна платформа.

Вступ

Світовий ринок молоковиробничої техніки має у своєму розпорядженні великий асортимент високотехнологічних доїльних машин, алгоритм роботи яких відповідає фізіологічним механізмам молокоутворення й молоковіддачі тварин і забезпечує оптимальний режим процесу доїння. Найбільш продуктивними в теперішній час є конвеєрні доїльні установки, які використовуються на фермах з великою кількістю тварин. Особливістю конвеєрних 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 [1, 2].

Найбільш розповсюдженим типом конвеєрної доїльної установки є установка типу "Карусель". До складу установки "Карусель" входить доїльна платформа у вигляді кола, на якій знаходяться доїльні станки, платформа обертається з постійною швидкістю. Дояр, знаходячись на одному місці, готує тварину до доїння та вдягає доїльний апарат. За час одного обертання платформи відбувається видоювання тварини, після чого вона виходить з доїльного станка. За рахунок певних причин зоотехнічного та технічного характеру відбуваються затримки в роботі конвеєра, що в деяких випадках значно знижує продуктивність доїльної установки. Враховуючи

загальносвітову тенденцію збільшення кількості тварин на молочних фермах, актуальним є завдання мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки з метою збільшення її продуктивності.

Постановка задачі

Як впливає із досвіду експлуатації конвеєрних доїльних установок, на роботу конвеєра значно впливає відсутність підбору тварин у стаді за тривалістю доїння, тобто наявність в стаді тварин, тривалість доїння яких перевищує ефективну тривалість руху конвеєра. Як показано у роботах [3, 4], тривалість затримки у роботі конвеєра за цією причиною сягає 20-30% від загальної тривалості роботи конвеєра. Взагалі, як впливає з проведених у [3] дослідженнях, затримки в роботі доїльних конвеєрів можна умовно поділити на три групи: затримки пов'язані з технічними відмовами; затримки пов'язані з неправильною орієнтацією та рухом тварин на доїльному конвеєрі; затримки пов'язані з відсутністю підбору тварин у стаді за тривалістю доїння. Методи урахування втрат продуктивності установки в автоматичних поточних лініях, в тому числі і доїльних установках, розглянуто у [5, 6]. Затримки лінії конвеєру з цієї причини можуть бути зведені до мінімуму за рахунок підвищення надійності конструкції, проведення планових технічних оглядів та поточних ремонтів. Друга група затримок за рахунок приручення тварин та конструктивного виконання доїльних станків може бути або врахована, або зведена до мінімуму [7]. Третя група затримок практично не залежить від технічного рівню та конструктивних особливостей доїльного конвеєра, і як показує практика, має найбільший вплив на фактичну продуктивність доїльного конвеєра. В роботі [8] доведено, що найбільш перспективним способом мінімізації впливу третьої групи затримок є використання регульованого приводу доїльного конвеєра. Виходячи з цього, завданням статті є створення алгоритму управління кутовою швидкістю обертання платформи конвеєрної доїльної установки типу "Карусель".

Рішення проблеми

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

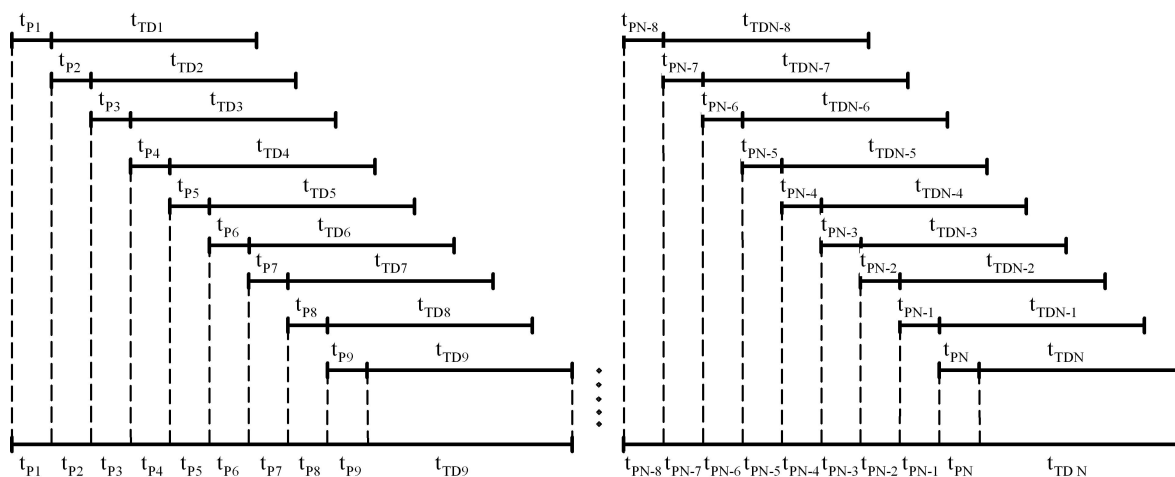


Рис. 1. Циклограма роботи конвеєрної доїльної установки типу "Карусель"

Типовий алгоритм роботи конвеєрної доїльної установки типу "Карусель" полягає в наступному. Доїльна платформа обертається з постійною номінальною кутовою швидкістю ω_N . Тварини по черзі заходять на установку і становляться в доїльний станок, після чого дояр здійснює процес підготовки тварини до доїння, який має тривалість t_{Pi} . Максимальне значення тривалості t_{Pi} регламентується технічними умовами експлуатації установки. Після цього починається процес доїння тривалістю t_{TDi} , який у цьому випадку дорівнює часу, за який доїльна платформа робить один повний оберт t_O . Цей процес продовжується циклічно до тих пір, поки не закінчиться видоювання усіх тварин у групі. Як впливає із аналізу циклограми, тривалість доїння групи з N тварин визначається виразом

$$T_{DK} = t_O + \sum_{i=1}^N t_{Pi} . \quad (1)$$

При наявності в групі тугодійних тварин можлива ситуація, коли тривалість доїння t_{TDi} перевищить тривалість часу, за який платформа здійснює один оберт t_O . У цьому випадку тварина у доїльному станку буде робити ще один оберт разом з платформою і тривалість її видоювання буде дорівнювати $2t_O$. Це приводить до порушення черги тварин, порушення безперервності роботи конвеєра, втрат часу і технологічної затримки роботи доїльної установки. Ця причина затримки конвеєра відноситься до третьої групи затримок, які були розглянуті вище. Мінімізувати вплив наявності тугодійних тварин на продуктивність роботи конвеєрної доїльної установки можна шляхом впровадження регульованого приводу доїльної платформи.

Розглянемо технологічні процеси доїння тварин на конвеєрній доїльній установці типу "Карусель". 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.

В роботі [9] встановлено, що диференційний закон розподілу часу t_{Pi} підготовки тварини до доїння наближається до χ^2 -квадрат розподілу, аналітичний вираз для якого визначається виразом [10]

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

де $p_{PD}(t_{Pi})$ - закон розподілу тривалості підготовки тварини до доїння; k - параметр закону розподілу; $\Gamma(z)$ - гамма-функція Ейлера.

Для χ^2 -квадрат розподілу математичне очікування визначається виразом

$$M_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{t_{Pi}^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t_{Pi}}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} dt_{Pi} = k. \quad (3)$$

В теперішній час існують два типи доїльних апаратів : з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. На конвеєрних доїльних установках типу "Карусель" використовуються виключно доїльні апарати з функцією керування процесом доїння. 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 некерованого доїння. Під час цієї фази протягом детермінованого часу t_{ND} – інтенсивність молоковиділення не вимірюється. Далі здійснюється перехід до фази керованого 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_{KDi} . 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.

В роботі [9] встановлено, що закон розподілу тривалості фази керованого доїння t_{KDi} доїльних апаратів з функцією управління процесом доїння наближається до гамма-розподілу і визначається виразом [10]

$$p_{KD}(t_{KDi}) = \frac{t_{KDi}^l e^{-\frac{t_{KDi}}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)}, \quad (4)$$

де $p_{KD}(t_{KDi})$ - 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, які характеризують групу тварин.

Відповідно математичне очікування фази керованого доїння

$$M_{KD} = \int_0^{+\infty} \frac{t_{KDi}^l e^{-\frac{t_{KDi}}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt_{KDi} = m(l+1), \quad (5)$$

Розглянемо алгоритм мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки. Тривалість доїння при використанні апаратів з функцією керування процесом доїння визначається як сума часу стимуляції, часу некерованого доїння, часу керованого доїння, часу додоювання:

$$t_{TDi} = t_S + t_{ND} + t_{KDi} + t_M . \quad (6)$$

Таким чином, з урахуванням (1), математичне очікування тривалості доїння групи з N тварин у відповідності з алгоритмом роботи конвеєрної доїльної установки типу "Карусель" визначається виразом

$$M_{DK} = t_S + t_{ND} + t_M + M_{KD} + \sum_{i=1}^N M_{PD} = t_S + t_{ND} + t_M + m(l+1) + N \times k , \quad (7)$$

а математичне очікування тривалості доїння однієї тварини

$$M_{TD} = t_S + t_{ND} + t_M + M_{KD} + M_{PD} = t_S + t_{ND} + t_M + m(l+1) + k . \quad (8)$$

Враховуючи, що для видоювання однієї тварини доїльна платформа повинна зробити один оберт, визначимо номінальне значення кутової швидкості, з якою повинна обертатись платформа

$$\omega_N = \frac{2\pi}{M_{TD}} k_Z = \frac{2\pi k_Z}{t_S + t_{ND} + t_M + m(l+1) + k} , \quad (9)$$

де $k_Z = 0.6...0.8$ - коефіцієнт, який визначається експериментально під час налаштування установки і залежить від статистичних параметрів зоотехнічних характеристик тварин у доїльній групі.

До складу сучасних конвеєрних доїльних установок як правило входять системи ідентифікації тварин та інформаційно-вимірювальні системи їх зоотехнічних параметрів. Для кожної тварини вимірюється ранковий, денний та вечірній удій при трьохразовому доїнні та ранковий і вечірній при дворазовому доїнні, відповідна тривалість доїння, інтенсивність молоковиділення та інші зоотехнічні параметри. Згідно зоотехнічних норм, у селекційно відібраному стаді, різниця між ранковими, денними та вечірніми удоями в поточну та попередню добу не повинна складати більше ніж на 20%. Приблизно така сама залежність спостерігається і у тривалості фази керованого доїння. Для прогнозування тривалості доїння кожної тварини визначається середній час фази керованого доїння за останні 5-7 дів окремо для ранкового, денного та вечірнього доїння за виразом

$$\bar{t}_{KD} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s t_{KDi} , \quad (10)$$

де $s = 5..7$ - кількість попередніх дів, за які здійснюється усереднення.

Як тільки тварина входить в доїльний станок на платформі, відбувається її ідентифікація і розраховується прогнозований час її видоювання за виразом

$$M_{PTD} = t_S + t_{ND} + t_M + \bar{t}_{KD} + k . \quad (11)$$

Відповідно, необхідна кутова швидкість обертання доїльної платформи, при якій видоювання тварини буде проведено за один оберт, визначається за виразом

$$\omega_{PN} = \frac{2\pi}{M_{PTD}} = \frac{2\pi}{t_S + t_{ND} + t_M + \bar{t}_{KD} + k} \cdot \quad (12)$$

Розраховане за виразом (12) необхідне значення кутової швидкості платформи ω_{PN} порівнюється з номінальним значенням кутової швидкості платформи ω_N . Якщо $\omega_N \leq \omega_{PN}$, то платформа продовжує обертатись з кутовою швидкістю ω_N . Якщо $\omega_N > \omega_{PN}$, то визначається різниця, на яку зменшується кутова швидкість обертання платформи відносно номінального значення

$$\Delta\omega = \omega_N - \omega_{PN} = 2\pi \left(\frac{k_Z}{t_S + t_{ND} + t_M + m(l+1) + k} - \frac{1}{t_S + t_{ND} + t_M + \bar{t}_{KD} + k} \right) \cdot \quad (13)$$

Зменшення кутової швидкості платформи здійснюється тільки у тому випадку, якщо відносне значення різниці складає не більше 5-7%, тобто якщо

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_N} = 1 - \frac{t_S + t_{ND} + t_M + m(l+1) + k}{(t_S + t_{ND} + t_M + \bar{t}_{KD} + k) k_Z} < 0.05 \dots 0.07 \quad (14)$$

Якщо визначена за виразом (14) відносна різниця кутових швидкостей перевищує 5-7%, то зменшення кутової швидкості обертання доїльної платформи недоцільно. Дана обставина зумовлена тим, що кількість тугодійних тварин, тривалість доїння яких значно перевищує середній показник групи, відносно не велика. Якщо доїння декількох таких тварин буде здійснено за два оберти доїльної платформи, то це значно не буде впливати на тривалість роботи установки. А суттєве, у цьому випадку, зниження кутової швидкості обертання платформи, призведе до збільшення тривалості доїння усіх інших тварин, які в цей час знаходяться на конвеєрі, що значно підвищить тривалість роботи установки.

Висновки

Запропоновано алгоритм мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки типу "Карусель" шляхом встановлення необхідної кутової швидкості обертання доїльної платформи за допомогою електроприводу змінної швидкості. Кутова швидкість доїльної платформи встановлюється на основі прогнозування максимальної тривалості доїння тварин, що знаходяться на платформі, на основі усереднення результатів вимірювання тривалості фази керованого доїння за попередні декілька діб. Встановлено аналітичний зв'язок між номінальним значенням кутової швидкості обертання доїльної платформи, зміною кутової швидкості обертання доїльної платформи відносно її номінального значення, та статистичними характеристиками групи тварин, параметрами доїльного апарату з функцією керування процесом доїння, статистичними характеристиками часу підготовки тварини до доїння. Наведено умови, при яких доцільно здійснювати зменшення кутової швидкості доїльної платформи при наявності тугодійних тварин на конвеєрі з метою мінімізації тривалості роботи конвеєрної доїльної установки.

Список літератури

1. Кузин Б.И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1977, с. 184.
2. Ткалин Н.М. Прогрессивные формы поточного производства. - Л.: Машиностроение, 1977, с. 184.
3. Звоняцковский В.Г. Сравнительная оценка доильных установок для ферм промышленного типа // Материалы IV Всесоюзного симпозиума по физиологическим основам машинного доения. - Алма-Ата, 1975, с. 90-96.
4. Билибин Е.Б. Анализ структуры простоев доильного конвейера // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1977, №6, с. 13-15.
5. Владзневский А.П. Автоматические линии в машиностроении. -М.: Машгиз, 1958. Кн. I. - 430 с.
6. Волчкевич Л.И. Надежность автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1969. - 308 с.
7. Билибин Е.Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа. -М.: ВИЭСХ, 1978, с. 32.
8. Цой Ю.А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. - 424 с.
9. В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь. Статистичні моделі тривалості машинного доїння / Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 3 (67). – С. 4–7.
10. В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. Справочник по теории вероятностей и математической статистике – М. : Наука, 1985. – 640 с.