

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 637.115:637.11

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-18-24>

Разработка алгоритма адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки типа «Карусель»

В.В. Кирсанов^{1✉}, Д.Ю. Павкин², С.В. Кирсанов³^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>² dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>³ sergejkirсанovv@gmail.com

Аннотация. Производительность доильной установки типа «Карусель» зависит от количества мест доения и продолжительности одного оборота платформы, которой можно управлять. Непрерывное регулирование скорости вращения платформы в зависимости от продолжительности доения каждого выпускаемого на платформу животного может привести к усложнению алгоритма и системы управления и повышенным нагрузкам на электропривод – с учётом значительной массы и инерционности вращающейся платформы с находящимися на ней животными. С целью разработки алгоритма адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки исследована циклограмма доильной установки типа «Карусель» на 36 мест доения при продолжительности оборота платформы 8, 10, 12, 15 мин. Установлено, что увеличение продолжительности оборота платформы с 8 до 15 мин приводит к снижению рециклинга доения с 8,75 до 0 и увеличению среднего значения цикловой производительности установки с 17,5 до 26,75 кор/об. С увеличением продолжительности оборота платформы с 8 до 10 мин средняя часовая производительность установки возрастает с 131,25 до максимального значения 153 кор/ч. При замедлении платформы до 12 и 15 мин/об средняя часовая производительность доильной установки снижается, соответственно, до 133,5 и 107 кор/ч. Наличие максимума в изменении часовой производительности обусловлено, с одной стороны, растущей цикловой производительностью от продолжительности оборота платформы, а с другой – ускоренным её снижением, вызванным соответствующим уменьшением числа оборотов платформы за 1 ч работы установки. На основе проведённых исследований разработан алгоритм адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки типа «Карусель» с учётом вероятно-статистической оценки продолжительности выдаивания животных. Алгоритм позволяет выбрать оптимальную продолжительность оборота платформы и обеспечить повышение производительности установки с 14,65 до 42,3% (в среднем на 28%).

Ключевые слова: доильная установка типа «Карусель», циклограмма доильной установки, продолжительность оборота платформы, количество мест доения, цикловая производительность установки, средняя часовая производительность доильной установки, рециклинг доения

Для цитирования: Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Кирсанов С.В. Разработка алгоритма адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки типа «Карусель» // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 1. С. 18-24. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-18-24>

ORIGINAL PAPER

Developing the algorithm of adaptive regulation of the platform rotation speed of the carousel conveyor milking parlour

V.V. Kirсанov^{1✉}, D.Yu. Pavkin², S.V. Kirсанov³^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; Moscow, Russia¹ kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>² dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>³ sergejkirсанovv@gmail.com

Abstract. The productivity of the carousel (rotary) milking parlour depends on the number of milking units and the controllable rotation cycle of the platform. Continuous regulation of the platform rotation speed depending on the milking cycle of each animal standing on the platform can lead to complication of the algorithm and the control system and increased loads on the electric drive, taking into account the significant mass and inertia of the rotating platform with animals standing on it. In order to develop an algorithm for the adaptive regulation of the platform

rotation speed of the conveyer milking parlour, the authors studied the cyclogram of the 36-unit carousel milking parlour with platform rotation cycles of 8, 10, 12 and 15 minutes. It was found that increasing the platform rotation cycle from 8 to 15 minutes resulted in a decrease in milk recycling from 8.75 to 0 and an increase in the average cycle productivity of the parlour from 17.5 to 26.75 cows/cycle. As the platform rotation cycle increases from 8 to 10 minutes, the average hourly productivity of the milking parlour increases from 131.25 to a maximum of 153 cows/hour. As the platform slows down to 12 and 15 min/cycle, the average hourly productivity of the milking parlour decreases to 133.5 and 107 cows/hour, respectively. The maximum value in the change of the hourly productivity is caused, on the one hand, by the increasing cyclic productivity depending on the platform rotation cycle, and, on the other hand, by its accelerated decrease caused by the corresponding decrease in the number of platform cycles for 1 h of the parlour operation. Based on the conducted research, the authors have developed an algorithm of adaptive regulation of the platform rotation speed of the carousel milking parlour, taking into account the probabilistic-statistical estimation of the complete milking time of an animal. The algorithm can be used to select the optimum platform rotation cycle and increase the milking parlour productivity from 14.65 to 42.3% (28% on average).

Key words: carousel (rotary) milking parlour, milking parlour cyclogram, platform rotation cycle, number of milking units, cyclic productivity of the parlour, average hourly productivity of the milking parlour, milking recycling

For citation: Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Kirsanov S.V. Developing the algorithm of adaptive regulation of the platform rotation speed of the carousel conveyor milking parlour. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(1):18-24. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-18-24>

Введение

На производительность доильной установки «Карусель» влияют количество мест доения и продолжительность одного оборота платформы (цикла вращения). Если первый фактор задаётся при проектировании и выборе установки и не подлежит изменению в процессе эксплуатации, то второй – регулируемый фактор, влияющий на производительность установки.

Существует 3 способа управления данным параметром: 1) назначение продолжительности оборота платформы по среднему значению времени доения с замедлением скорости вращения в последней 1/3 оборота (вплоть до останова) для выдаивания тугодойных животных; 2) назначение продолжительности оборота платформы без регулирования по максимальному значению времени доения с гарантированным выдаиванием всех животных за один оборот; 3) назначение продолжительности оборота платформы без регулирования с отправлением невыдоенных животных на второй круг.

Реализация первых двух способов может привести к существенному снижению пропускной способности установки (до 50%) [1, 2]. Чтобы избежать этого, разработчики и проектировщики предлагают оборудование с увеличенным количеством станко-мест для доения, что в свою очередь ведет к росту капиталоемкости оборудования. Третий способ заслуживает внимания, однако при этом также возникает неопределённость относительно назначения продолжительности оборота платформы, которая будет зависеть от статистических характеристик и вариабельности параметра продолжительности доения коров в стаде. Разработан алгоритм с непрерывным регулированием скорости вращения платформы в зависимости от продолжительности

доения каждого выпускаемого на платформу животного [3, 4]. Однако такое непрерывное регулирование может привести к усложнению алгоритма и системы управления и повышенным нагрузкам на электропривод – с учётом значительной массы и инерционности вращающейся платформы с находящимися на ней животными. Поскольку практически после каждого захода животного на платформу придётся изменять скорость вращения, подстраиваясь под индивидуальную продолжительность доения конкретной коровы, то целесообразно рассмотреть и проанализировать возможные варианты управления и регулирования скорости вращения доильной платформы и соответствующей продолжительности одного ее оборота $\tau_{об}$.

Цель исследований: анализ циклограммы и разработка алгоритма адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки типа «Карусель».

Материалы и методы

Диапазон регулирования скорости вращения выбираем в соответствии с вариабельностью продолжительности доения животных и рекомендациями [5, 6]. При этом диапазон изменения продолжительности доения животных в группе от среднего значения t_{dcp} до максимального t_{dmax} и соответствующий ему диапазон изменения продолжительности оборота платформы от $\tau_{обmin}$ до $\tau_{обmax}$ являются основными регулирующими факторами, которые можно записать как

$$\begin{cases} t_d \in (t_{dcp} \dots t_{dmax}); \\ \tau_{об} \in (\tau_{обcp} \dots \tau_{обmax}) \\ \tau_{об} \neq \tau_{обcp}. \end{cases} \quad (1)$$

Из регулирующего диапазона продолжительности оборота платформы следует исключить значение $\tau_{об\,ср}$, соответствующее средней продолжительности доения $t_{дср}$, поскольку в этом случае пришлось бы перенаправить на второй круг практически половину животных из обслуживаемой группы, что неприемлемо с точки зрения наличия свободных мест на платформе [7]. Очевидно, что из исследуемой возможной продолжительности оборотов платформы должно быть некое новое значение, являющееся медианой исследуемого диапазона, принадлежащего множеству $(\tau_{об\,ср} \dots \tau_{об\,max})$. Введём новый параметр – максимальное среднее значение, являющееся опорной средней точкой в рассматриваемом цифровом ряду:

$$\left\{ \begin{aligned} \tau_{об\,ср}^{max} &= \frac{\sum \tau_{об\,i}}{N}; \\ N &\in (\tau_{об\,ср} \dots \tau_{об\,max}), \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где N – число точек в исследуемом цифровом диапазоне множества значений оборотов платформы $\tau_{об\,ср} \dots \tau_{об\,max}$.

Данное значение приближает нас к оптимальному числовому параметру. При этом критерием оптимальности может служить максимум производительности доильной установки при минимальном количестве животных, отправляемых на рециклинг (второй круг доения).

Как следует из формулы производительности роторно-конвейерной доильной установки, её производительность тем выше, чем больше мест доения на платформе и меньше продолжительность одного оборота платформы [8]. Однако эти два параметра являются взаимозависимыми для конкретной установки. Так, если снизить продолжительность оборота платформы до среднего значения, соответствующего средней продолжительности доения коров в группе, то можно получить неприемлемо большое количество животных, которые не будут выдоены за один оборот и соответствующим образом, и их следует направить на второй круг [8]. Из рассматриваемого ряда целых чисел продолжительности оборота платформы (6, 8, 10, 12 и 15 мин), принадлежащих диапазону $\tau_{об\,ср} \dots \tau_{об\,max}$ в соответствии с выражением (2), максимальное среднее значение составит $10,2 \approx 10$ мин. Это составляет 6 оборотов платформы за 1 ч.

Результаты и их обсуждение

На основании обработки выборки утреннего доения группы животных (123 гол.) на доильной установке типа «Карусель» на 36 мест в Кстовском районе Нижегородской области (рис. 1) [9] определены значения цикловых показателей и часовой производительности доильной установки при различной продолжительности оборота платформы (8, 10, 12 и 15 мин). Результаты представлены в таблицах 1, 2.

Алгоритм адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной

установки «Карусель» реализуется в такой последовательности:

1. При вводе установки в эксплуатацию определяются тестовые статистические характеристики параметров доения каждой обслуживаемой технологической группы животных: минимальная, средняя, максимальная продолжительность доения животных, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации и др.). Создается база данных о животных на основе программы управления стадом.

2. Вводятся постоянные параметры конвейерной доильной установки: общее количество мест доения на платформе $n_{общ}$, количество отводимых мест на платформе под зоны впуска-выпуска животных, $n_{вп.вып}$ и др.

3. Предварительно рассчитывается и выбирается максимальная средняя продолжительность цикла оборота платформы в соответствующем диапазоне числовых значений $(\tau_{об\,ср} \dots \tau_{об\,max})$ в соответствии с выражением (2).

4. Определяется количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске в каждом цикле оборота платформы, $n_{пр}$.

5. Определяется количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг) в каждом цикле, n_{pi} по условию:

$$t_{di} \in (t_{дср} \dots t_{dmax}) > \tau_{об\,ср}^{max}. \quad (3)$$

6. Определяется количество зашедших (впущенных) на платформу животных в i -м цикле (оборота) $n_{впi}$:

$$n_{впi} = n_{общ} - n_{вп.вып} - n_{пр} - n_{pi-1}, \quad (4)$$

где n_{pi-1} – количество животных, оставшихся на платформе и направленных на рециклинг в $i-1$ цикле оборота платформы.

7. Определяется цикловая производительность установки (количество животных, выдоенных за i -й цикл оборота платформы и выпущенных с установки, $q_{чи}$):

$$q_{чи} = n_{pi-1} + n_{впi} - n_{pi}. \quad (5)$$

8. Определяется часовая производительность установки, $q_{чи}$, кор/ч:

$$q_{чи} = \frac{q_{чи} \cdot 60}{\tau_{об\,i}}. \quad (6)$$

9. Определяется средняя часовая производительность установки за разовое время обслуживания T_{pi} всего поголовья в i -ю дойку: $Q_{чсрi}^y$ (утром); $Q_{чсрi}^{об}$ (в обед); $Q_{чсрi}^в$ (вечером):

$$\left\{ \begin{aligned} Q_{чсрi}^y &= \frac{\sum q_{чи}}{T_{pi}}; \\ Q_{чсрi}^{об} &= \frac{\sum q_{чи}}{T_{pi}}; \\ Q_{чсрi}^в &= \frac{\sum q_{чи}}{T_{pi}}. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

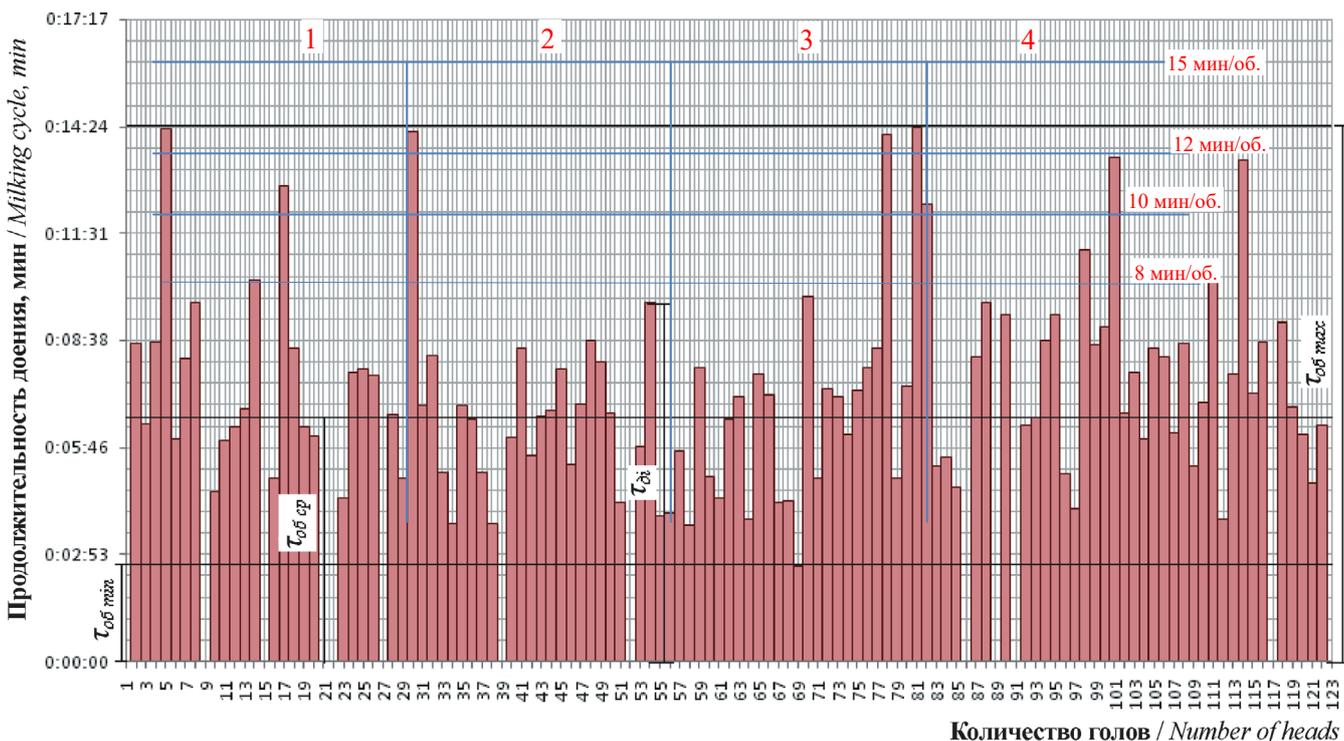


Рис. 1. Пример реализации вариабельности параметра продолжительности доения коровы в группе на доильной карусели на 36 мест:

$\tau_{об\ min}$, $\tau_{об\ ср}$, $\tau_{об\ max}$ – минимальная, средняя и максимальная продолжительность оборота платформы;
 $\tau_{д\ i}$ – фактическая продолжительность доения i -й коровы

Fig. 1. Example of using the parametric variability of the milking cycle of a cow in a group on a 36-unit carousel milking parlour:

$\tau_{об\ min}$, $\tau_{об\ ср}$, $\tau_{об\ max}$ – minimum, average and maximum duration of the platform rotation cycle;
 $\tau_{д\ i}$ – actual milking cycle of the i^{th} cow

Таблица 1

Изменение цикловых параметров работы доильной установки «Карусель» на 36 мест* в зависимости от продолжительности оборота платформы $\tau_{об}$

Table 1

Variation of cycle operating parameters of the carousel 36-unit milking parlour* depending on the platform rotation cycle $\tau_{об}$

Параметр Parameter	Номер цикла (оборота) вращения платформы Number of the cycle of platform rotation			
	1	2	3	4
$\tau_{об} = 8$ мин				
Количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске, $n_{пр}$ Number of milking units missed by animals not entering the platform, $n_{пр}$	7	2	3	2
Цикловая производительность установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы), $q_{ц}$, кор/об. Cycle productivity of the parlour (number of milked cows for one turn of the platform), $q_{ц}$, cows/cycle	15	(9+15)	(5+10)	(8+8)
Количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг), n_p Number of animals entering to the second round (recycling), n_p	9	5	8	13
Часовая (мгновенная) производительность установки, $q_{ч}$, кор/ч Hourly (instantaneous) productivity of the parlour, $q_{ч}$, cows/hour	112,5	180	112,5	120
Часовая средняя производительность установки, $q_{ч}$, кор/ч Hourly average productivity of the parlour, $q_{ч}$, cows/hour	131,25			

Окончание табл. 1

Параметр Parameter	Номер цикла (оборота) вращения платформы Number of the cycle of platform rotation			
	1	2	3	4
$\tau_{об} = 10$ мин				
Количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске, $n_{пр}$ Number of milking units missed by animals not entering the platform, $n_{пр}$	7	2	3	2
Цикловая производительность установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы), $q_{ц}$, кор/об. Cycle productivity of the parlour (number of milked cows for one turn of the platform), $q_{ц}$, cows/cycle	20	(4+25)	(0+28)	(3+22)
Количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг), n_p Number of animals entering to the second round (recycling), n_p	4	0	3	4
Часовая (мгновенная) производительность установки, $q_{ч}$, кор/ч Hourly (instantaneous) productivity of the parlour, $q_{ч}$, cows/hour	120	174	168	150
Часовая средняя производительность установки, $q_{ч,ср}$, кор/ч Hourly average productivity of the parlour, $q_{ч,ср}$, cows/hour	153,0			
$\tau_{об} = 12$ мин				
Количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске, $n_{пр}$ Number of milking units missed by animals not entering the platform, $n_{пр}$	7	2	3	2
Цикловая производительность установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы), $q_{ц}$, кор/об. Cycle productivity of the parlour (number of milked cows for one turn of the platform), $q_{ц}$, cows/cycle	21	(3+26)	(0+28)	(3+26)
Количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг), n_p Number of animals entering to the second round (recycling), n_p	3	0	3	2
Часовая (мгновенная) производительность установки, $q_{ч}$, кор/ч Hourly (instantaneous) productivity of the parlour, $q_{ч}$, cows/hour	105	145	140	145
Часовая средняя производительность установки, $q_{ч,ср}$, кор/ч Hourly average productivity of the parlour, $q_{ч,ср}$, cows/hour	133,5			
$\tau_{об} = 15$ мин				
Количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске, $n_{пр}$ Number of milking units missed by animals not entering the platform, $n_{пр}$	7	2	6	2
Цикловая производительность установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы), $q_{ц}$, кор/об. Cycle productivity of the parlour (number of milked cows for one turn of the platform), $q_{ц}$, cows/cycle	24	29	25	29
Количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг), n_p Number of animals entering to the second round (recycling), n_p	0	0	0	0
Часовая (мгновенная) производительность установки, $q_{ч}$, кор/ч Hourly (instantaneous) productivity of the parlour, $q_{ч}$, cows/hour	96	116	100	116
Часовая средняя производительность установки, $q_{ч,ср}$, кор/ч Hourly average productivity of the parlour, $q_{ч,ср}$, cows/hour	107			

*Количество отводимых мест на платформе под зоны впуска-выпуска животных, $n_{вп.вып} = 5$.

*Number of allotted units on the platform for animal intake-outlet zones, $n_{вп.вып} = 5$.

Таблица 2

Средние показатели цикловой и часовой производительности доильной установки «Карусель» в зависимости от продолжительности одного оборота платформы

Table 2

Average indicators of cycle and hourly productivity of the carousel milking parlour depending on the platform rotation cycle

Показатель Parameter	Продолжительность оборота платформы $\tau_{об, мин}$ Duration of platform rotation cycle $\tau_{об}, min$			
	8	10	12	15
Количество пропущенных мест доения не вошедшими на платформу животными при впуске, $n_{пр\ ep}$ Number of milking units missed by animals not entering the platform, $n_{пр\ ep}$	4,25	4,25	4,25	4,25
Количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг), n_p Number of animals entering to the second round (recycling), n_p	8,75	2,75	2,00	0
Цикловая производительность установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы), $q_{ц}, \text{ кор/об}$ Cycle productivity of the parlour (number of milked cows for one turn of the platform), $q_{ц}, \text{ cows/rev.}$	17,50	25,50	26,75	26,75
Часовая производительность установки, $q_{ч}, \text{ кор/ч}$ Hourly productivity of the parlour, $q_{ч}, \text{ cows/hour}$	131,25	153,00	133,50	107,00

10. Последовательно просчитываются все варианты для других итераций – ряда числовых значений продолжительностей цикла оборота платформы (8, 10, 12, 15 мин) по циклу (п. 3-п. 9):

$$\tau_{об} \in N = (8, 10, 12, 15 \text{ мин}). \quad (8)$$

11. Выбираются максимальные значения производительности установки за каждую дойку (утро, обед, вечер) по выражениям (6), (7).

Продолжительность оборота платформы существенно влияет на её цикловые характеристики. При увеличении продолжительности оборота платформы с 8 до 15 мин среднее количество животных, направляемых на второй круг (рециклинг доения), прогнозируемо снижается с 8,75 до 0, а среднее значение цикловой производительности установки (количество выдоенных коров за один оборот платформы) возрастает с 17,5 до 26,75 кор/об.

Средняя часовая производительность установки возрастает с 131,25 до 153 кор/ч при увеличении продолжительности оборота платформы от 8 до 10 мин, постепенно снижается до 133,5 кор/ч

при продолжительности оборота 12 мин и достигает своего минимума 107 кор/ч при максимальной продолжительности оборота платформы 15 мин.

Наличие максимума (точки перегиба) в изменении часовой производительности обусловлено противофазным развитием двух факторов: с одной стороны, растущей цикловой производительностью от продолжительности оборота платформы, а с другой – ускоренным снижением часовой производительности, вызванным соответствующим уменьшением числа оборотов платформы за 1 ч работы установки.

Выводы

Разработанный алгоритм адаптивного регулирования скорости вращения платформы конвейерной доильной установки типа «Карусель» с учётом вероятностно-статистической оценки продолжительности выдаивания животных позволяет выбрать оптимальную продолжительность оборота платформы и обеспечить повышение производительности установки от 14,65 до 42,3% (в среднем на 28%).

Список литературы

- Измайлов А.Ю., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. Технологические основы алгоритмизации и цифрового управления процессами молочных ферм: монография. М.: Научно-издательский центр Инфра-М, 2019. 208 с. EDN: UWAZMI
- Морозов Н.М., Кирсанов В.В. Эффективность применения различных способов механизации и автоматизации доения коров // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 2. С. 11-18. <https://doi.org/10.32651/232-11>
- Кирсанов В.В., Филонов Р.Ф., Тареева О.А. Алгоритм управления доильными установками типа «Карусель» // Техника и оборудование для села. 2012. № 10. С. 20-22. EDN: PFKMDT

References

- Izmaylov A.Yu., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V. Technological grounds for algorithmization and digital control of dairy farms processes: monograph. Moscow: Infra-M Research and Publishing Centre, 2019. 208 p. (In Rus.)
- Morozov N.M., Kirsanov V.V. Efficiency of application of various mechanization methods and automation of cow milking. *Economics of Agriculture of Russia*. 2023;2:11-18. (In Rus.) <https://doi.org/10.32651/232-11>
- Kirsanov V.V., Filonov R.F., Tareeva O.A. The control algorithm of the “carousel” type milking machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2012;10:20-22. (In Rus.)

4. Тареева О.А., Кирсанов В.В., Стребуляев С.Н. Результаты теоретических и экспериментальных исследований адаптивного алгоритма управления доильными установками «Карусель» // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 2 (22). С. 153-158. EDN: WAGKRT

5. Бородин Т.С., Зорин В.А., Стребуляев С.Н., Тареева О.А., Шамин А.Е. Применение модели Гумбеля для распределения времени и скорости процесса роторно-конвейерного доения // Вестник НГИЭИ. 2021. № 3 (118). С. 24-39. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2021-3-24-39>

6. Kirsanov V.V., Izmaylov A.Y., Lobachevsky Y.P., Tareeva O.A., Strebulayev S.N., Filonov R.F. Models And Algorithms Of Adaptive Animal Flow Control In Rotary Milking Parlors. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2019;67(6):1465-1484. <https://doi.org/10.11118/actaun201967061465>

7. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Мамедова Р.А. Оценка эргономичности труда операторов машинного доения, работающих на установках «Карусель» // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 4. С. 555-561. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.555-561>

8. Ерохин М.Н., Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Казанцев С.П. Структурно-технологическое моделирование процессов и функциональных систем в молочном скотоводстве // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2007. Т. 17, № 1. С. 19-31. EDN: NPTRYB

9. Тареева О.А., Данилов Д.Ю., Борисова Е.Е. Основные технологические расчёты при выборе роторно-конвейерных доильных установок // Экономика и предпринимательство. 2019. № 4 (105). С. 1153-1157. EDN: ENDADX

4. Tareeva O.A., Kirsanov V.V., Strebulayev S.N. Results of theoretical and experimental studies of the adaptive control algorithm of “Carousel”-type milking units. *Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanisation of Animal Husbandry*. 2016;2(22):153-158. (In Rus.)

5. Borodina T.S., Zorin V.A., Strebulayev S.N., Tareeva O.A., Shamin A.E. Application of the Gumbel model for time and speed distribution rotary conveyor milking process. *Bulletin NGIEI*. 2021;3:24-39. (In Rus.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2021-3-24-39>

6. Kirsanov V.V., Izmaylov A.Y., Lobachevsky Y.P., Tareeva O.A., Strebulayev S.N., Filonov R.F. Models And Algorithms Of Adaptive Animal Flow Control In Rotary Milking Parlors. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2019;67(6):1465-1484. <https://doi.org/10.11118/actaun201967061465>

7. Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Mamedova R.A. Evaluation of labor ergonomics of machine milking operators working at “Carousel”-type milking units. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):555-561. (In Rus.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.555-561>

8. Erokhin M.N., Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., Kazantsev S.P. Structural and technological modelling of processes and functional systems in dairy cattle breeding. *Scientific Proceedings of GNU VNIIMZh Rosselkhozakademy*. 2007;17(1):19-31. (In Rus.)

9. Tareeva O.A., Danilov D.Zh., Borisova E.E. Basic technological calculations when choosing a rotary conveyor milking units. *Ekonomika i Predprinimatelstvo*. 2019;4:1153-1157. (In Rus.)

Сведения об авторах

Владимир Вячеславович Кирсанов¹, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом механизации и автоматизации процессов в животноводстве; kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Дмитрий Юрьевич Павкин², канд. техн. наук, заведующий лабораторией цифровых систем и роботизированных технических средств в животноводстве; dimqqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Сергей Владимирович Кирсанов³, аспирант лаборатории цифровых систем и роботизированных технических средств в животноводстве; sergejkirsanovv@gmail.com

^{1,2,3} Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

В.В. Кирсанов – концептуализация и методология.
Д.Ю. Павкин – проведение исследований, ресурсы
С.В. Кирсанов – формальный анализ.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 26.09.2023; поступила после рецензирования и доработки 20.12.2023; принята к публикации 20.12.2023

Author Information

Vladimir V. Kirsanov¹, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Mechanisation and Automation of Animal Husbandry Processes; kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Dmitry Yu. Pavkin², CSc (Eng), Head of the Laboratory of Digital Systems and Robotized Technical Means Used in Animal Husbandry; dimqqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Sergey V. Kirsanov³, postgraduate student, the Laboratory of Digital Systems and Robotized Technical Means Used in Animal Husbandry; sergejkirsanovv@gmail.com.

^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1st Institutsky Proezd Str., 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Author Contribution

V.V. Kirsanov – conceptualization and methodology.
D.Y. Pavkin – research implementation, resources
S.V. Kirsanov – formal analysis.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 26.09.2023; revised 20.12.2023; accepted 20.12.2023