

Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном манипуляторе доения

© 2021. В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Д. В. Шилин, С. С. Рузин[✉],
С. С. Юрочка

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

В статье проведен анализ и сравнение циклограмм работы современных доильных роботов компаний Lely, DeLaval и GEA Farm. Разработаны концепции, модели и схемы для дифференцированного управления доильными стаканами для точного соблюдения физиологии доения животных. Разработанные модели позволят сократить задержки между подключением доильных стаканов или избавиться от них вовсе, так как основным недостатком, влияющим на время подключения в существующих доильных роботах, является поочередное подключение доильных стаканов. Использование одной из предложенных схем и моделей, в свою очередь, позволит наиболее полно протестировать рефлекс молокоотдачи и равномерно отдоить все четверти вымени. Были рассмотрены работы отечественных и зарубежных авторов по роботизированному доению и его анализу. В качестве методов анализа были сформулированы циклограммы работ различных роботов. Для предложения концепции разработаны геометрические схемы и модели управления доильными стаканами. Предложены и описаны пять схем дифференцированного управления доильными стаканами и семь моделей управления, две из которых осуществляют попарное подключение, а остальные одновременное. Реализация предложенной концепции, моделей и схем управления доильными стаканами в роботизированном манипуляторе с попарным или одновременным подключением позволит нормализовать продолжительность полных циклов преддоильной обработки и подключения доильных стаканов, приблизив их к физиологически приемлемым величинам (не более 60 секунд).

Ключевые слова: подключение доильных стаканов, циклограммы, автоматизированное доение, управление доильными стаканами

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2021-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю., Шилин Д. В., Рузин С. С., Юрочка С. С. Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном манипуляторе доения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):128-135. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135>

Поступила: 13.10.2020

Принята к публикации: 27.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator

© 2021. Vladimir V. Kirsanov, Dmitry Yu. Pavkin, Denis V. Shilin,
Semen S. Ruzin[✉], Sergey S. Yurochka

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article provides the analysis and comparison of operation cyclograms of modern robotic milking systems of Lely, DeLaval and GEA Farm companies. Concepts, models and schemes for differentiated control of teat cups have been developed to ensure accurate compliance with the physiology of milking. The developed models will allow to reduce or avoid the delay between the attachment of teat cups, since the main disadvantage that affects the attachment time in existing automatic milking systems is the sequential attachment of teat cups. Using one of the proposed schemes and models will most fully stimulate the milking reflex and evenly milk all quarters of the udder. The studies of domestic and foreign authors on robotic milking and its analysis have been reviewed. As methods of the analysis, cyclograms of various robotic milking systems have been formulated. For the proposal of the concept geometric diagrams and models of control of the teat cups have been designed. There have been proposed and described five schemes of differentiated control of teat cups and seven control models two of which provide paired attachment and the rest – simultaneous attachment. The implementation of the proposed concept, models and control schemes of teat cups in a robotic manipulator with paired or simultaneous attachment will allow to normalize the duration of full cycles of pre-milking processing and attachment of teat cups, bringing them closer to physiologically acceptable values (not more than 60 seconds).

Keywords: teat cups attachment, cyclograms, automated milking, control of teat cups

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2021-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu., Shilin D. V., Ruzin S. S., Yurochka S. S. Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):128-135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135>

Received: 13.10.2020

Accepted for publication: 27.01.2021

Published online: 22.02.2021

Анализ конструкций существующих доильных роботов показывает, что совокупная продолжительность выполнения операции по обработке сосков и подключения доильных стаканов может составлять от 1,38 до 2,76 минут, при этом сдаивание первых струек молока, очистка сосков вымени варьирует в пределах 0,78...1,20 минут, а надевание доильных стаканов – 0,50...1,56 минут. Меньшие значения принадлежат доильному роботу *Lely*, а большие роботу *DeLaval* [1, 2]. Как видно, разброс достаточно существенный и возникает резонный вопрос, как это соотносится с физиологией лактирующих животных, технологией машинного доения и другими требованиями, сформулированными учёными и конструкторами, занимающимися разработкой доильных аппаратов¹ [3, 4]. В правилах машинного доения строго оговаривается, что продолжительность надевания доильных стаканов не должна превышать 60 секунд после начала санитарной обработки сосков вымени оператором доения. Это связано с наступлением рефлекса молокоотдачи, когда начинает выделяться гормон окситоцин (через 30...60 секунд) после начала обработки (подмывание и массаж) вымени². Считается, что наступает активная фаза рефлекса молокоотдачи и запаздывание с подключением доильных стаканов может повлечь за собой не полное выдаивание вымени коровы, что подтверждается многочисленными исследованиями как российских, так и зарубежных ученых [5, 6, 7, 8]. В этой связи влияние операций по преддоильной подготовке и подключению доильных стаканов на соски животных существенно превышает зоотехнические требования, достигая своего максимума 2,76 минуты в доильном роботе *DeLaval*. Возникает необходимость дополнительного изучения этого вопроса в плане эффективности реализации

рефлекса молокоотдачи в роботах различных конструкций.

Как видно, даже в самых «быстрых» роботах этот показатель составляет 1,38 минуты, что также превышает рекомендованную границу (60 секунд) подключения доильных стаканов ко всем соскам вымени коровы.

Поэтому с целью дальнейшего совершенствования технологии роботизированного доения, разработки более совершенного алгоритма управления и конструкции манипулятора доения необходим детальный анализ циклограммы выполнения отдельных операций по преддоильной подготовке сосков вымени и подключения доильных стаканов.

Цель исследования – проанализировать и сравнить циклограммы работы доильных роботов компаний *Lely*, *DeLaval* и *GEA Farm* на предмет их соответствия нормам физиологии доения по времени подключения доильных стаканов после начала стимуляции. Предложить концепции, модели и схемы дифференцированного управления доильными стаканами.

Материал и методы. В качестве исходного материала для исследований использовали источники, содержащие данные по эксплуатации доильных роботов, а также точно указывающие время, которое необходимо доильным роботам на выполнение операций по преддоильной обработке и подключению доильных стаканов.

Результаты и их обсуждение. Как видно из проведённого анализа, в технологии есть существенные резервы времени. Самое быстрое подключение доильных стаканов, по данным Г. Шлейтцера, производится доильным роботом *Lely* (0,5 минут), самое длительное (1,56 минут) в доильном роботе *DeLaval* [1]. В последнем случае это связано с дополнительными затратами времени по переносу 6-осевым манипулятором каждого доильного стакана к соску вымени из базового положения.

¹Карташов Л. П., Цой Ю. А., Макаровская З. В., Карташова О. Л. Организация, техника и технология машинного доения коров: учеб. пособие. Оренбург: Изд-во центр ОГАУ, 2012. 255 с.

URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006509818>

²Правила машинного доения коров. М.: Агропромиздат, 1989. 39 с.

URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001485276>

Рассмотрим подробнее циклограмму работы доильного робота с одновременным подведением всех 4 доильных стаканов к соскам вымени и поочередным последовательным подключением доильных стаканов (роботы: *Lely*, *GEA Farm*) и индивидуальным подведением и подключением каждого доильного стакана (робот *DeLaval*):

$$\begin{cases} t_{цi}^H = 4t_{цi}^{oc} + 4t_{цiH}^{пс}, \\ t_{цi}^{\Sigma л} = 4t_{цi}^{oc} + 4t_{цiP}^{пс}, \end{cases} \quad (1)$$

где $t_{цi}^H, t_{цi}^{\Sigma л}$ – соответственно суммарная продолжительность циклов обработки сосков и подключения доильных стаканов в схемах с индивидуальным подведением каждого доильного стакана *DeLaval* и с одновременным всех 4 стаканов в *Lely*, с; $t_{цi}^{oc}$ – продолжительность цикла обработки (обмыва) одного соска вымени, с; $t_{цiH}^{пс}$ – продолжительность подключения одного доильного стакана из точки, соответствующей начальному положению доильного стакана, с; $t_{цiP}^{пс}$ – продолжительность подключения одного доильного стакана из рабочей точки (под выменем животного), с.

С небольшим допущением можно принять равным продолжительность циклов обработки сосков индивидуальным доильным стаканом и щетками $t_{цi}^{oc}$. В роботах *Lely* и *DeLaval* суммарная продолжительность цикла обработки сосков будет равна $4t_{цi}^{oc}$.

Аналогичный показатель у робота *GEA Farm* будет равен $t_{цi}^{oc}$, так как там все четыре соска одновременно очищаются в доильных стаканах [9]. То есть для общего цикла будет справедливо выражение:

$$t_{цi}^{\Sigma GEA} = t_{xx}^{PT} + 4t_{цiP}^{пс} + 4t_{цi}^{oc}, \quad (2)$$

где t_{xx}^{PT} – время вывода рабочего органа из начального положения в рабочую точку рядом с выменем, с.

Как видим, в работе робота *GEA Farm* можно ожидать минимальную продолжительность общего цикла обработки сосков и подключения доильных стаканов, причем цикл обработки сосков начинается после цикла индивидуального подключения доильных стаканов из рабочей точки в непосредственной близости от вымени животного. Вместе с тем возникает вопрос о качестве очистки и возможных путях загрязнения молокопроводящих путей доильных стаканов [10, 11, 12].

Рассмотрим по отдельности составляющие в выражениях (1) и (2). Продолжительность цикла обработки (обмыва и сдаивания первых струек) включает поочередную обработку каждого соска отдельным промывочным стаканом *DeLaval* или щетками *Lely*.

$$t_{цi}^{oc} = t_{xx}^{PT} + t_{цi}^{oc'}, \quad (3)$$

где $t_{цi}^{oc'}$ – время надевания доильного стакана из рабочей точки на сосок и его обработки, с.

Продолжительность вывода рабочего органа манипулятора в рабочую точку (t_{xx}^{PT}) с небольшим допущением у всех манипуляторов можно принять одинаковой.

Показатель продолжительности полного цикла обработки соска животного определится из выражения:

$$t_{цi}^{oc'} = t_{PTi}^п + t_{PTi} + t_{oc_i}^{\phi}, \quad (4)$$

где $t_{PTi}^п$ – продолжительность распознавания (позиционирования) i -го соска животного системой машинного зрения, с; t_{PTi} – продолжительность подвода (надевания) рабочего органа на сосок (из рабочей точки), с; $t_{oc_i}^{\phi}$ – фактическая продолжительность обработки одного соска, с.

Выражение (4) будет справедливо для систем с поочередной обработкой сосков вымени рабочим органом (роботы: *Lely*, *DeLaval*). Для робота *GEA Farm* этот показатель будет меньше, так как соски обрабатываются одновременно во всех 4 доильных стаканах и здесь будет справедливо выражение $t_{цi}^{oc} \approx t_{oc_i}^{\phi}$.

Аналогичным образом рассмотрим продолжительность циклов подключения доильных стаканов с руки манипулятора, выведенного предварительно под вымя животного и из начального положения:

$$\begin{cases} t_{цiH}^{пс} = t_{xx}^{PT} + t_{PTi}^п + t_{PTi}, \\ t_{цiP}^{пс} = t_{PTi}^п + t_{PTi}. \end{cases} \quad (5)$$

Как видно из выражения (5), в работе с индивидуальным подключением доильных стаканов из «нулевого» положения всегда присутствует холостой ход руки манипулятора (туда-обратно) при подключении каждого доильного стакана, а при групповом их подведении в рабочую точку только один раз (1), что ускоряет процесс их подключения.

Учитывая, что $t_{цi}^{oc} \approx t_{oc_i}^{\phi}$ и подставляя (3), (4), (5) в (1) и (2), и объединяя последние запишем:

$$\left[t_{ц_i}^и = \left[4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}} + t_{о_{с_i}}^ф) + t_{хх}^{р_{т_i}} \right] + \left[4(t_{хх}^{р_{т_i}} + t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}}) \right], \right. \quad (6)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma л} = \left[4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}} + t_{о_{с_i}}^ф) + t_{хх}^{р_{т_i}} \right] + \left[4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}}) \right], \quad (7)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma GEA} = t_{о_{с_i}}^ф + \left[4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}}) + t_{хх}^{р_{т_i}} \right]. \quad (8)$$

Произведем соответствующие преобразования и упрощения выражений и запишем окончательный вид:

$$\left[t_{ц_i}^и = 8t_{р_{т_i}}^п + 8t_{р_{т_i}} + 5t_{хх}^{р_{т_i}} + 4t_{о_{с_i}}^ф, \right. \quad (9)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma л} = 8t_{р_{т_i}}^п + 8t_{р_{т_i}} + t_{хх}^{р_{т_i}} + 4t_{о_{с_i}}^ф, \quad (10)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma GEA} = 4t_{р_{т_i}}^п + 4t_{р_{т_i}} + t_{хх}^{р_{т_i}} + t_{о_{с_i}}^ф. \quad (11)$$

Анализ выражений (9), (10), (11) показывает суммарный цикл с индивидуальным управлением доильными стаканами из нулевой точки (робот *DeLaval*) отличается от аналогичного показателя (робот *Lely*) с групповым подводом доильных стаканов в рабочую точку на величину $4t_{хх}^{р_{т_i}}$, соответствующую четырем холостым ходам руки манипулятора из нулевого положения в рабочую точку и обратно. Откуда можно заключить, что предварительное группирование доильных стаканов на руке манипулятора и их одновременный вывод в зону расположения вымени имеет существенное значение, что и подтверждается

экспериментальными данными, приведёнными в начале статьи.

У робота *GEA Farm* имеется также существенная экономия времени на позиционировании и управлении доильными стаканами при подключении и обработке сосков. Разница составляет $4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}}) + 3t_{о_{с_i}}^ф$, то есть четыре цикла распознавания и подключения рабочих органов к соскам и три цикла фактической обработки сосков вымени, что также является весьма существенным. Вместе с тем здесь следует оговориться, что доильные стаканы подключаются на неочищенные соски, что может повлечь за собой попадание загрязнений в молокопроводящие пути, даже при тщательной мойке.

Дальнейшей модернизацией существующих конструкций манипуляторов может быть групповое: попарное или даже одновременное подключение доильных стаканов к соскам, с целью сокращения параметра $4(t_{р_{т_i}}^п + t_{р_{т_i}})$, такую цикловую трансформацию можно изобразить схемой, представленной на рисунке 1.

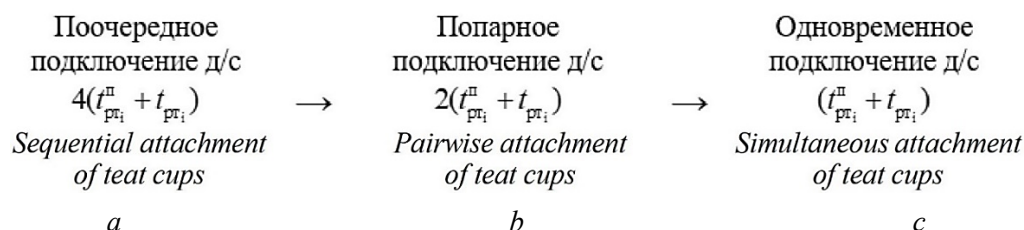


Рис. 1. Схема цикловой трансформации продолжительности подключения и обработки сосков в роботизированном манипуляторе /

Fig. 1. Scheme of cyclic transformation of the duration of attachment and premilking treatment of teats in a robotic manipulator

Очевидно, реализация схем *b* и *c*, представленных на рисунке 1, потребует разработки автономных устройств управления доильными стаканами помимо руки манипулятора. Это усложнит конструкцию, но вместе с тем существенно сократит затраты времени на позиционирование и подключение соответственно в 2 и 4 раза по сравнению с существующими конструкциями, и позволит уложиться в «физиологический допуск» (≤ 60 секунд от начала обработки вымени) на подключение доильных стаканов, что очень важно с технологической и физиологической точек зрения.

Возможные варианты схем дифференцированного управления доильными стакана-

ми могут выглядеть следующим образом (рис. 2). В общем случае держатель со стаканами (на схемах) не показан, рукой манипулятора подводится под вымя (т.0), далее стаканы должны «собраться» по одной из схем в произвольный четырехугольник, соответствующий координатам расположения сосков вымени у коровы и затем подключиться к соскам.

Как известно, произвольный четырехугольник однозначно определяется размерами диагоналей, точкой их пересечения и углом между ними. Исходя из этих соображений, нами рассчитаны основные варианты схем перемещения доильных стаканов, представленных на рисунке 2.

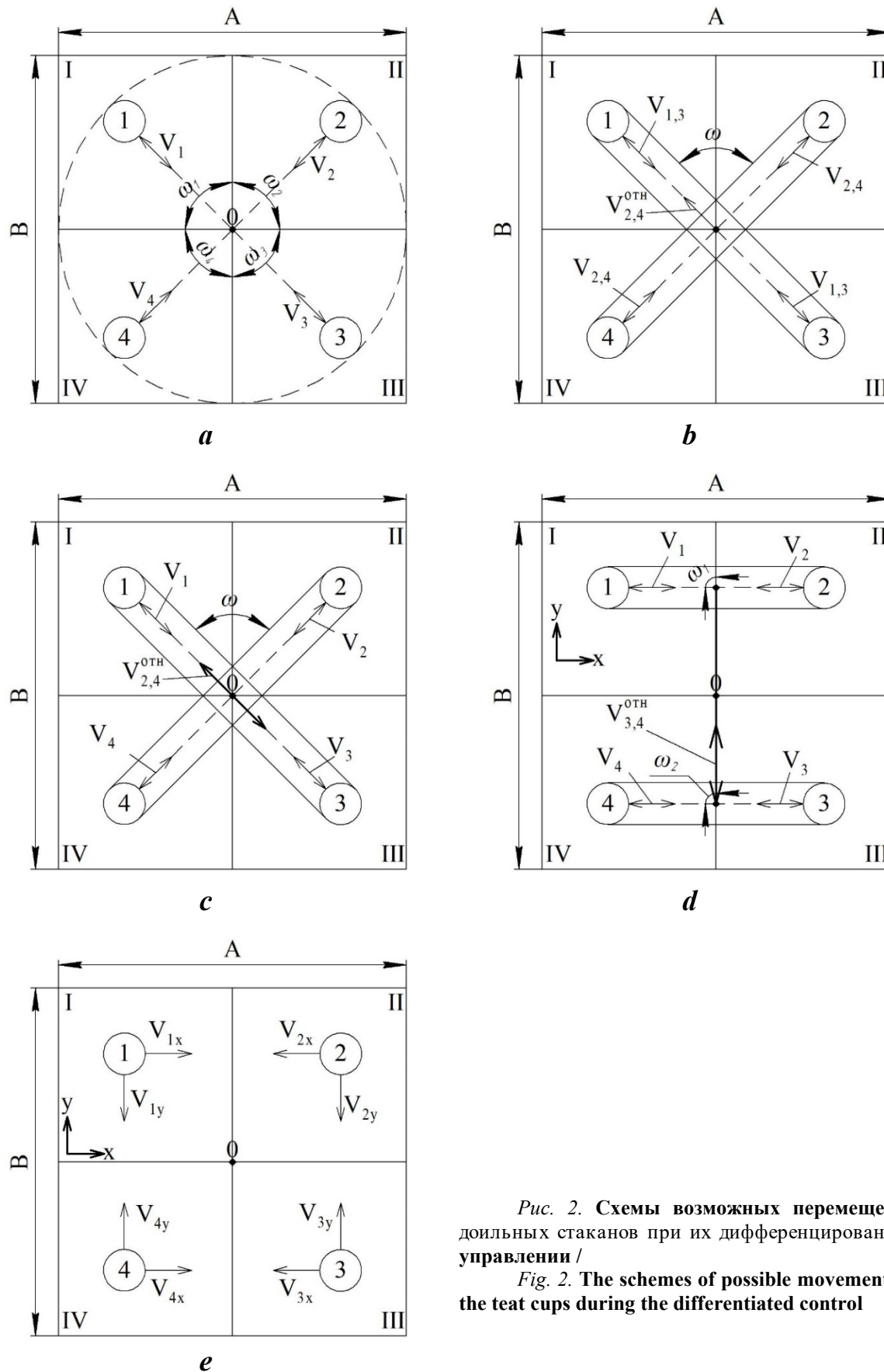


Рис. 2. Схемы возможных перемещений доильных стаканов при их дифференцированном управлении /

Fig. 2. The schemes of possible movements of the teat cups during the differentiated control

Схема (рис. 2а) обеспечивает независимое линейное (радиальное) и угловое перемещение доильных стаканов 1-4 относительно т.О (центр) и предлагает использование четырех независимо работающих цилиндрических мини манипуляторов. Очевидно, что данная система будет иметь 8 степеней свободы в плоскости и для своей реализации потребует 8 приводов, в том числе 4 линейных и 4 поворотных:

$$i_a^4 = [(V_1, \omega_1), (V_2, \omega_2), (V_3, \omega_3), (V_4, \omega_4)]. \quad (12)$$

При этом 8 приводов – это максимальный вариант для этой схемы, когда все 4 стакана будут одновременно управляться и подключаться к соскам вымени. При попарном подключении число приводов можно сократить вдвое, поскольку освободившиеся приводы могут работать на другую пару стаканов после подключения первой:

$$i_a^2 = (V_{1,2}; \omega_{1,2}; V_{3,4}; \omega_{3,4}). \quad (13)$$

Схема (рис. 2б) обеспечивает зависимое линейное и диагональное перемещение $(V_{1,3}; V_{2,4})$ с поворотом одной диагонали (ω) и их относительным перемещением $(V_{2,4}^{отн})$ в направлении другой диагонали (1-3). Подвижность системы будет равна 4:

$$i_b^4 = (V_{1,3}; V_{2,4}; V_{2,4}^{отн}; \omega). \quad (14)$$

Соответственно потребуется 4 привода: 3 линейных и 1 поворотный. Очевидно, что данная схема может работать только при одновременном позиционировании четырех доильных стаканов, поскольку выстраивание диагоналей идет одновременно.

Производной схемы (рис. 2б) может являться схема (рис. 2с), где осуществляется независимое диагональное перемещение доильных стаканов с поворотом диагонали (ω) и относительным перемещением $(V_{2,4}^{отн})$:

$$i_c^4 = (V_1; V_2; V_3; V_4; V_{2,4}^{отн}; \omega). \quad (15)$$

Данная схема имеет 6 степеней свободы в плоскости и столько же приводов ей необходимо для управления доильными стаканами, данная схема более гибка для выстраивания прямоугольника по вершинам сосков.

Схема (рис. 2д) подразумевает независимое линейное перемещение доильных стаканов, с поворотами направляющих $(\omega_1$ и $\omega_2)$ относительно оси x и относительным перемещением $V_{3,4}^{отн}$ вдоль оси x . Имеет 7 степеней

свободы и приводов, а также множество геометрических решений:

$$i_d^4 = (V_1; V_2; V_3; V_4; V_{3,4}^{отн}; \omega_1; \omega_2). \quad (16)$$

Последняя представленная схема (рис. 2е) с независимыми перемещениями по плоскости Oxy в каждой четверти доильных стаканов обладает 8 степенями свободы и требует для реализации 8 приводов:

$$i_e^4 = (V_{1x}; V_{1y}; V_{2x}; V_{2y}; V_{3x}; V_{3y}; V_{4x}; V_{4y}). \quad (17)$$

Очевидно, что данная схема может быть трансформирована в схему с попарным перемещением. В случае если каретка с приводами будет перемещаться вдоль оси ординат, при этом число степеней свободы и приводов может быть сокращено до 4:

$$i_e^2 = (V_{3x,4x}; V_{3y,4y}; V_{1x,2x}; V_{1y,2y}). \quad (18)$$

Описанные выше схемы требуют проведения моделирования их кинематики, например, в системе *Matlab Simulink*, с оценкой зоны достижимости и решением прямой и обратной задач кинематики [13, 14]. В настоящее время в лаборатории машинного доения ФНАЦ ВИМ разрабатывается подобная конструкция манипулятора с дифференцированным управлением доильными стаканами для роботизированного доения.

Выводы. Реализация предложенной концепции, моделей и схем управления доильными стаканами в роботизированном манипуляторе с попарным или одновременным подключением позволит нормализовать продолжительность полных циклов передоильной обработки и подключения доильных стаканов, приблизив их к физиологически приемлемым величинам (не более 60 секунд), что позволит избежать нарушений технологии и правил машинного доения и повысить физиологичность доильных роботов, приблизив их к темпу работы оператора-человека, а учитывая качественную обработку сосков, следует еще и ожидать повышение качества молока, снижение заболеваемости маститом и др. Вместе с тем неизбежные конструктивные усложнения не должны отражаться на надежности работы роботизированных манипуляторов, поскольку в этом случае затраты на сервис и устранение аварийных отказов могут нивелировать ожидаемый от их применения эффект. Цена комплекта однокорпусной модели робота также должна быть приемлемой и находится в пределах 4-5 млн рублей.

References

1. Шляйтцер Г. Кому бокс, а кому и карусель? Новое сельское хозяйство. 2011;(6):46-51. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38485888>
Shlyaytser G. *Komu boks, a komu i karusel'?* [To whom is the box, and to whom is the carousel?]. *Novoe sel'skoe khozyaystvo*. 2011;(6):46-51. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38485888>
2. Dzidic A., Weiss D., Bruckmaier R. M. Oxytocin release, milk ejection and milking characteristics in a single stall automatic milking system. *Livestock Production Science*. 2004;86(1-3):61-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00150-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00150-7)
3. Краснов И. Н. Доильные аппараты. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1974. 227 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007417434>
Krasnov I. N. *Doil'nye apparaty*. [Milking machines]. Rostov n/D: *Izd-vo Rost. un-ta*, 1974. 227 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007417434>
4. Никитин Е. А., Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю. Обоснование структурно-кинематических схем автоматических манипуляторов для почетвертного доения. Труды ГОСНИТИ. 2017;128:112-117. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29871188>
Nikitin E. A., Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu. *Obosnovanie strukturno-kinematicheskikh skhem avtomaticheskikh manipulyatorov dlya pochetvertnogo doeniya*. [To study the structural and kinematic schemes of automatic manipulators for a quarter of the udder milking]. *Trudy GOSNITI*. 2017;128:112-117. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29871188>
5. Bruckmaier R. M., Macuhova J., Meyer H. H. D. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock production science*. 2001;72(1-2):169-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00277-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00277-9)
6. Negrao J. A., Marnet P. G. Milk yield, residual milk, oxytocin and cortisol release during machine milking in Gir, Gir x Holstein and Holstein cows. *Reproduction nutrition development*. 2006;46(1):77-85. DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd:2005068>
7. Besier J., Schupbach-Regula G., Wellnitz O., Bruckmaier R. M. Technical note: Effects of attachment of hind teats before cleaning and attachment of front teats on milking characteristics in automatic milking systems. *Journal of dairy science*. 2017;100(4):3091-3095. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11712>
8. Wildridge A. M., Thomson P. C., Garcia S. C., Jongman E. C., Kerrisk K. L. Transitioning from conventional to automatic milking: Effects on the human-animal relationship. *Journal of dairy science*. 2020;103(2):1608-1619. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16658>
9. Dzidic A., Macuhova J., Bruckmaier R. M. Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. *Journal of dairy science*. 2004;87(12):4163-4169. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73559-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73559-6)
10. Hogenboom J. A., Pellegrino L., Sandrucci A., Rosi V., D'Incecco P. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of dairy science*. 2019;102(9):7640-7654. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16013>
11. Lassen B. Relationship between farm structure, milking technology and productivity – survey results from European dairy farmers. *Berichte über Landwirtschaft*. 2011;89(3):376-399. URL: https://www.researchgate.net/publication/287093205_Relationsship_between_farm_structure_milking_technology_and_productivity_-_Survey_results_from_European_dairy_farmers
12. Switlyk M., Koloszytz E., Sompolska-Rzechula A. Selected technical and organizational problems in various milk production systems. *Bulgarian journal of agricultural science*. 2019;25(6):1069-1075. URL: <https://agrojournal.org/25/06-02.pdf>
13. Павкин Д. Ю., Кирсанов В. В., Дорохов А. С., Лобачевский Я. П., Рузин С. С., Цой Ю. А., Шилин Д. В., Любимов В. Е., Чирков А. В. Манипулятор доильной установки с управляемым режимом доения по четвертям вымени коровы: пат. № 2715859 (Российская Федерация). № 2019107891: заявл. 19.03.2019; опубл. 03.03.2020. Бюл. № 7. 2 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7652&DocNumber=2715859&TypeFile=html
Pavkin D. Yu., Kirsanov V. V., Dorokhov A. S., Lobachevskiy Ya. P., Ruzin S. S., Tsoy Yu. A., Shilin D. V., Lyubimov V. E., Chirkov A. V. Manipulator of the milking system with a controlled mode of milking on the quarters of the cow's udder: patent Russian Federation no. 2715859. 2020. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7652&DocNumber=2715859&TypeFile=html
14. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and Mounting Points of the Drive Equipment. In Proc. 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization. 2019;1072:339-348. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_34

Сведения об авторах

Кирсанов Владимир Вячеславович, доктор техн. наук, гл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Павкин Дмитрий Юрьевич, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Шилин Денис Викторович, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5038-7747>

✉ **Рузин Семен Сергеевич**, аспирант, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6870-5486>, e-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

Юрочка Сергей Сергеевич, аспирант, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Information about the authors

Vladimir V. Kirsanov, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Dmitriy Yu. Pavkin, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Denis V. Shilin, PhD in Engineering, researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5038-7747>

✉ **Semen S. Ruzin**, postgraduate, junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6870-5486>, e-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

Sergey S. Yurochka, postgraduate, junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

✉ – Для контактов / Corresponding author