

С.А.Соловьев, доктор технических наук
А.В.Колпаков, кандидат технических наук
В.Г.Солдатов

Оренбургский государственный аграрный университет
E-mail: soldatoviktor@yandex.ru

УДК 631.117

Обоснование критериев эффективности эксплуатации манипуляторов машинного доения

В статье рассмотрены вопросы оценки эффективности эксплуатации манипуляторов машинного доения. Получены выражения критериев эксплуатации: угол наклона доильных стаканов к вертикали, условие безболезненного их снятия, плавность движений исполнительного механизма доильного манипулятора.

Ключевые слова: машинное доение, манипуляторы, доильные стаканы, угол наклона, плавность движений

В агропромышленном комплексе России при среднегодовом удое коров менее 4 тыс. кг необходимо повысить уровень автоматизации машинного доения путем внедрения современных конструкций манипуляторов, которых на российском и мировом рынках представлено несколько десятков. Поэтому возникает необходимость объективно оценить эффективность функционирования манипуляторов и выбор критериев.

Главный показатель эффективности автоматического манипулятора машинного доения – степень снижения напряженности работы оператора при адекватном воздействии доильного аппарата на молочную железу коровы. Важная характеристика манипулятора доения – способность работать с различным по форме и размеру выменем коровы. В результате анализа научных публикаций мы выделили следующие критерии эффективности эксплуатации доильных манипуляторов: *ориентация доильных стаканов на направление естественного расположения сосков, безболезненность снятия доильных стаканов, плавность движений исполнительного механизма.*

Проведем теоретическое обоснование эффективности работы доильного манипулятора.

Article is devoted to assessing the effectiveness work of milking manipulators. Expressions are derived criteria for assessing the effectiveness of operation: angle of the teat cups to the vertical, the condition of painless removal of teat cups, smooth movements of milking manipulators.

Key words: machine milking, manipulators, milking cups, inclination angle, smoothness of movements

1. *Ориентация доильных стаканов на направление естественного расположения сосков.*

Автоматические манипуляторы доения, обеспечивающие правильную ориентацию доильных стаканов в пространстве и оттягивание их при доении в направлении естественного расположения сосков (вперед под углом $20 \pm 5^\circ$ к вертикали), позволяют повысить скорость молокоотдачи. В своих исследованиях А.И.Зеленцов и Ю.А.Цой доказали, что способность манипуляторов доения работать в соответствии с этими требованиями напрямую влияет на качество их функционирования [1, 8].

Угол наклона α к вертикали отдельного доильного стакана (рис. 1) можно определить, зная пространственные координаты его основания $C_1(x_1, y_1, z_1)$ и противоположной стороны $C_2(x_2, y_2, z_2)$:

$$\cos \alpha = \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \quad (1)$$

Следовательно, угол наклона должен быть постоянным или изменяться в небольших пределах. Запишем квадратичное неравенство для определения пространственной области расположения сосков вымени:

$$\cos 25^\circ \leq \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \leq \cos 15^\circ \quad (2)$$

После преобразований (2) примет вид:

$$\begin{cases} 0,933 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,933 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,077 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \\ 0,822 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,822 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,188 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Совокупность уравнений прямых (3) характеризует наклон доильного стакана к вертикали под углом $\alpha \in [15^\circ; 25^\circ]$

Таким образом, найдена система квадратичных неравенств, позволяющих определить геометрическое положение в пространстве доильного стакана

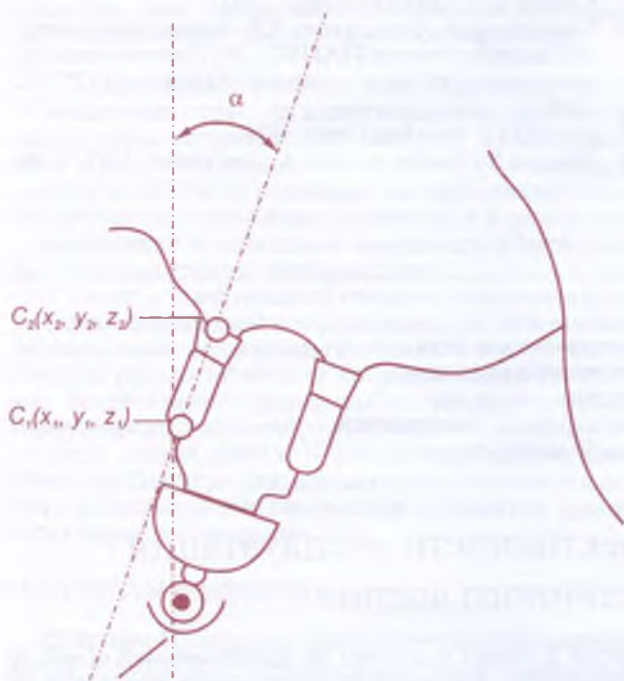


Рис. 1. Угол наклона доильного стакана по двум точкам.

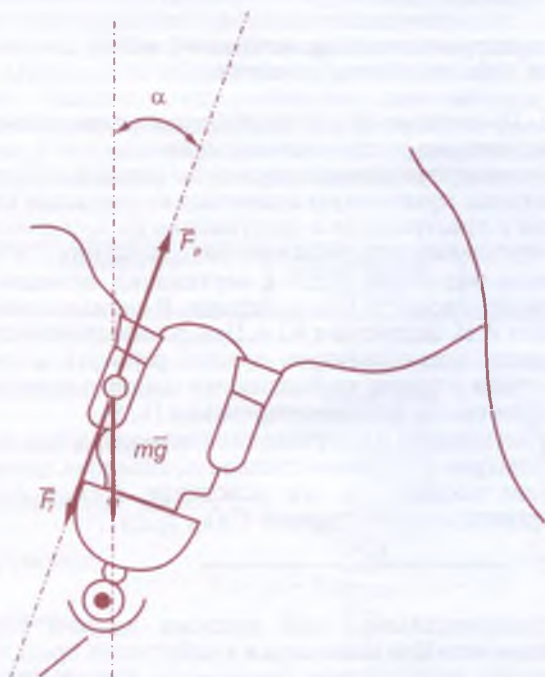


Рис. 2. Силы, действующие на сосок вымени коровы в момент снятия доильного стакана.

во время доения, при котором обеспечивается наибольшая интенсивность молокоотдачи.

2. Безболезненность снятия доильных стаканов.

При автоматизированном способе доения важное значение имеет способ автоматического отключения доильного аппарата. Необходимо обеспечить безболезненное снятие доильных стаканов с вымени [3, 4].

В результате исследований В.П.Саврана установлено, что снятие стаканов при разрежении в подсосковых камерах вызывает у животных раздражение и изменение состояния сосков. Происходит их удлинение на 16,7 %, растет число субклинических маститов до 9 %, выделение крови увеличивается на 13 %, снижается молочная продуктивность коров на 10,7 % [5].

Из-за разрежения в подсосковых камерах для снятия стаканов необходимо приложить определенное усилие. Запишем скалярное уравнение сил, действующих на сосок вымени коровы (рис. 2) в момент снятия доильного стакана:

$$F_r = F_p - m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где F_p – сила удержания доильного стакана на соске; m – масса доильного стакана и одной четвертой исполнительного механизма доильного манипулятора, g – ускорение свободного падения; F_r – сила, с которой манипулятор оттягивает доильный стакан, α – угол наклона к вертикали доильного стакана.

Величина F_p прямо пропорциональна давлению резины на сосок P_g и площади их взаимодействия S .

$$F_r = P_g \cdot S - m \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Характер воздействия резины на сосок (P_g) зависит от разности давлений в межстенной и подсосковой камерах стакана, физико-механических свойств и конструктивных параметров резины, ее натяжения в стакане и упругости соска. Величину этого давления можно определить по формуле, предложенной профессором Л.П.Карташовым [1]:

$$P_g = \frac{P_h(C_c + C_p)}{4,4 \cdot \pi \cdot E \cdot \eta} + P_p \frac{\sqrt{K+1}-1}{2}, \quad (6)$$

где P_h – сила натяжения сосковой резины в доильном стакане; P_p – величина разрежения, действующая на сосковую резину; C_c – коэффициент "мягкости" тканей соска вымени коровы; C_p – коэффициент упругости сосковой резины; E – твердость резины; η – толщина сосковой резины; $K = D/Z$ – линейный фактор сосковой резины (D и Z – рабочая длина и внутренний диаметр сосковой резины).

Выражение (6) показывает, что если в момент отключения аппарата установить в подсосковой камере атмосферное давление, подавая одновременно в межстенную камеру постоянное разрежение, то давление резины на сосок будет минимальным. При этом способе в момент прекращения молокоотдачи сосковая резина, прижимаясь к гильзам доильных стаканов, под действием разности давления $P_n - P_m = -P_p$ полностью "отпускает" соски коров, доильные стаканы спадают с них без нанесения животному болевых ощущений. Это позволяет значительно снизить заболеваемость вымени и улучшить санитарное качество молока [6].

Таким образом, минимальная сила оттягивания доильного стакана:

$$F_{r, \min} = \left(\frac{P_h(C_c + C_p)}{4,4 \cdot \pi \cdot E \cdot \eta} - P_p \frac{\sqrt{K+1}-1}{2} \right) \cdot S - m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (7)$$

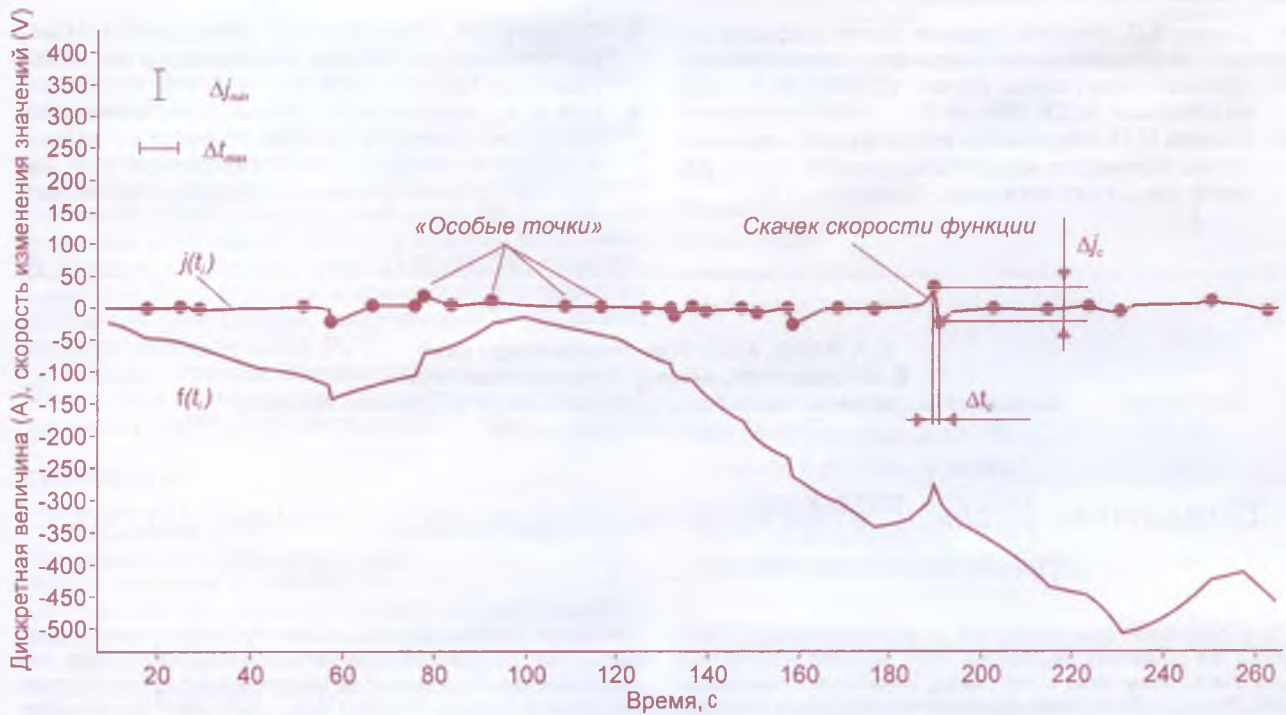


Рис. 3. Геометрическая интерпретация плавности функции.

Практическую сложность представляет расчет величины разрежения P_p , действующей на сосковую резину. Определим силу оттягивания с учетом ускорения, которое получает доильный стакан в момент его снятия:

$$\bar{F}_r = (\bar{a}_r - \bar{g})m, \quad (8)$$

где \bar{a}_r – ускорение движения доильного стакана сразу после его снятия, которое складывается из ускорений свободного падения \bar{g} и \bar{a}_p , переданного силой удержания доильного стакана на соске:

$$\bar{a}_r = \bar{a}_p + \bar{g}. \quad (9)$$

При свободном спадании доильных стаканов с сосков сила их оттягивания минимальна $F_{r, \min} \rightarrow 0$. Тогда ускорение движения доильных стаканов будет стремиться к ускорению свободного падения $a_{r, \min} \rightarrow g \cdot \cos \alpha$. Критерий безболезненного снятия доильных стаканов относительно ускорения их движения представим в виде:

$$\begin{cases} F_{r, \min} = (a_{r, \min} - g \cdot \cos \alpha) \cdot m \\ a_{r, \min} \rightarrow g \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (10)$$

3. Плавность движений исполнительного механизма доильного манипулятора.

Кривая траектории движения исполнительного механизма доильного манипулятора должна быть гладкой при плавном изменении скорости движения. Эти характеристики во многом определяют износоустойчивость звеньев манипулятора, точность совершаемых движений, затраты работы и степень болевых ощущений, которые испытывает животное [2, 7].

Если функция задана аналитически, о плавности изменения ее значений можно судить по графику производной. Последняя определена во всех точках - функция плавная.

Скорость движения исполнительного механизма доильного манипулятора описывается дискретнозначной функцией ($f(t_i)$):

$$v_i = f(t_i), \quad (i = 0..n), \quad (11)$$

где: v_i – скорость в момент времени t_i от начала движения, м/с; t_i – время в i -й момент наблюдения, с; Δt_i – временной интервал между предыдущей и последующей регистрацией значений, $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ с; n – количество регистраций.

Быстроту изменения значений функции $f(t_i)$ на интервале Δt_i представим в следующем виде:

$$j(t_i) = \frac{v(t_i) - v(t_{i-1})}{\Delta t_i}, \quad (i = 0..n). \quad (12)$$

Математический смысл этой величины близок смыслу первой производной, но отличается тем, что величина приращения аргумента Δt_i конечна.

Поэтому дискретнозаданную функцию $f(t_i)$ будем считать плавной, если она не имеет скачков быстроты изменения значений функции – интервалов, в которых быстрота изменения значений функции $j(t_i)$ за время не более Δt_{\max} подчиняется зависимости $j(t_i) < \Delta j_{\min}$, где Δt_{\max} – максимальный интервал, а Δj_{\min} – минимальное приращение быстроты функции для регистрации скачка. При этом Δt_{\max} и Δj_{\min} – заранее определяемые критерии оценки плавности функции для конкретного случая (рис. 3).

В результате теоретического обоснования получили выражения критериев оценки эффективности эксплуатации доильных манипуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташов Л.П. О воздействии сосковой резины на сосок при машинном доении коров: Научн. тр.//Саратовский СХИ. 1978. № 123.
2. Карташов Л.П. Машинное доение коров.-М.: Колос, 1982.
3. Королев В.Ф. Доильные машины.-М.: Машиностроение, 1969.
4. Маловский Н.А. Обоснование вакуумметрического режима стабилизации положения доильного аппарата на вымени коровы: Автореф. дис... канд. техн. наук.-Оренбург, 2001.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

5. Савран В.П. Влияние приемов снятия доильных аппаратов с сосков на молочную продуктивность и состояние вымени коров: Научн. тр.//НИИЖ Лесостепи и Полесья УССР. 1978. № 23.
6. Саматов М.П. Обоснование конструктивно-кинематических параметров манипулятора доения коров: Автореф. дис... канд. техн. наук.-Челябинск, 1983.
7. Соловьев С.А., Карташов Л.П. Исполнительные механизмы системы "человек-машина-животное".-Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
8. Цой Ю.А., Зеленцов А.И., Лобачев Ю.В. Пропускная способность доильных установок "тандем" и "елочка" и вопросы их автоматизации//V Всесоюз. симп. по машинному доению сельскохозяйственных животных. Рига, 17-20 апреля 1979 г.