

УДК 631.116.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ ПОЛОСТИ В СТЕНКЕ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

С.Н. Бондарев,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

В статье предложена конструкция доильного стакана с сосковой резиной, имеющей герметичную полость, заполненную пористым материалом с воздухом. Предложены зависимости для определения его конструктивных и технологических параметров.

Ключевые слова: машинное доение, доильный стакан, молоко, пористая полость, модуль упругости, сосковая резина.

The design of a milking cup with a milking liner of a sealed cavity filled with a porous material and air is proposed in the article. Dependencies for determining its design and technological parameters are given.

Key words: machine milking, milking cup, milk, porous cavity, elastic modulus, milking liner.

Введение

Машинное доение – сложный процесс получения молока от дойных коров и сбор его в молокоприемную емкость, который оказывает влияние на удельные затраты, качество и количество получаемого молока, а также на продуктивность и здоровье самих коров. Процесс машинного доения осуществляется за счет создания вакуумметрического давления в доильном аппарате с механическим воздействием на соски вымени коровы, имеющие различную длину (5...9 см), диаметр (2,0...3,2 см) и конфигурацию (цилиндрическую, коническую, бутылчатую, воронкообразную и т.д.) [1]. Механическое воздействие на соски вымени коровы осуществляется сосковой резиной, установленной в гильзе доильного стакана, стенки которой имеют одинаковую плотность материала и толщину. В результате чего, при такте «сжатие» сосковая резина сжимает нижнюю часть соска вымени коровы с двух сторон с большим усилием, чем его остальную часть [2]. В этом случае происходит неполноценная стимуляция рефлекса молокоотдачи, а, следовательно, интенсивность молокоотдачи коровы снижается, что приводит к увеличению удельной энергоемкости процесса машинного доения и повышению риска заболеваемости коровы маститом [3-6].

Устранить вышеперечисленные недостатки возможно применением доильного стакана (рис. 1), содержащим гильзу 3 и установленную в ней сосковую резину 2, в которой между наружным 6 и внутренним эластичным 8 слоями, по длине тела соска коровы 1, выполнена герметичная полость 7, заполненная пористым материалом с воздухом.

Кроме того, за счет меньшей толщины стенка внутреннего слоя 8 сосковой резины 2 имеет большую эластичность, чем наружный слой 6. В результате чего от конструктивных параметров пористой полости будет зависеть обеспечение равномерного пе-

рераспределения давления по всей длине соска независимо от его конфигурации.

Целью данной работы является определение оптимальных значений конструктивных параметров пористой полости, выполненной в стенке сосковой резины доильного стакана.

Основная часть

Выполнив пористую полость 7 между стенками сосковой резины 2 по длине соска 1, при сжатии от внешнего слоя 6 сосковой резины 2, за счет сжатия пор в пористом материале происходит перераспределение давления, а также обеспечивается полное копирование рельефа и равномерное распределение давления по всей длине соска 1. В результате, обеспечивается оптимальный режим доения коровы, что способствует увеличению ее молокоотдачи.

Кроме того, большая эластичность внутреннего слоя 8 сосковой резины 2, чем наружного 6, обеспечивает эффективное сжатие и массаж соска по всей длине независимо от его конфигурации [6].

Так как пористая полость, выполненная в стенке сосковой резины, должна обеспечивать перераспределение давления по всей длине соска во время такта «сжатие», то длину пористой полости определим по формуле:

$$l_{п.п.} = l_c - l_{пр} + \Delta l_c, \quad (1)$$

где l_c – длина соска вымени коровы, м;

$l_{пр}$ – длина присоска сосковой резины, м;

Δl_c – удлинение соска вымени коровы в процессе машинного доения, м.

Для определения удлинения соска вымени коровы, возникающего в процессе машинного доения, воспользуемся формулой закона Гука [7], перезаписав ее для нашего случая:

$$\begin{cases} M_D = p_{см} \pi d_B l_{\Gamma} \frac{l_{\Gamma}}{2} - R_F l_{\Gamma} = 0 \\ M_F = p_{см} \pi d_B l_{\Gamma} \frac{l_{\Gamma}}{2} - R_D l_{\Gamma} = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где $p_{см}$ – величина вакуума смыкания стенок сосковой резины, Па;

d_B – внутренний диаметр сосковой резины с пористой полостью, Па;

l_{Γ} – длина гильзы доильного стакана, м².

Выразим реакции опор R_D и R_F из системы уравнений (5):

$$R_F = R_D = \frac{p_{см} \pi d_B l_{\Gamma}}{2}. \quad (6)$$

Для определения максимальной величины прогиба стенки сосковой резины при длине пористой полости $l_{п.п.}$, воспользуемся уравнением упругой линии балки [7]. Для нашего случая это выражение примет вид:

$$w_{п.п.} = \int_{l_{пр.}}^{l_{п.п.}} \left(\int_{l_{пр.}}^{l_{п.п.}} \frac{M_{п.п.}}{E_{упр} I_x} dl_{п.п.} \right) dl_{п.п.}, \quad (7)$$

где $l_{пр.}$ – длина присоска сосковой резины, м;

$M_{п.п.}$ – сумма моментов относительно точки D по длине пористой полости $l_{п.п.}$, Н·м;

$E_{упр.}$ – модуль упругости стенки сосковой резины с пористой полостью, Па;

I_x – осевой момент инерции стенки сосковой резины с пористой полостью относительно оси x , м⁴.

Составим уравнения моментов относительно точки D , действующих по длине пористой полости $l_{п.п.}$:

$$M_{п.п.} = R_D l_{п.п.} - p_{см} \pi d_B l_{п.п.} \frac{l_{п.п.}}{2}. \quad (8)$$

Подставив значение формулы (8) в выражение (7), после двойного интегрирования получим формулу для определения максимальной величины прогиба стенки сосковой резины по длине пористой полости:

$$w_{п.п.} = - \frac{p_{см} \pi d_B (l_{п.п.} - l_{пр.})^2}{24 E_{упр} I_x} \times (l_{п.п.}^2 + 2l_{п.п.} l_{пр.} - 2l_{\Gamma} l_{п.п.} + 3l_{пр.}^2 - 4l_{\Gamma} l_{пр.}). \quad (9)$$

Так как сосковая резина в поперечном сечении представляет собой тонкостенную оболочку, то осевой момент инерции ее стенок определим по формуле [7]:

$$I_x = \frac{\pi (d_n^4 - d_b^4)}{64}, \quad (10)$$

где d_n – наружный диаметр сосковой резины, м;

d_b – внутренний диаметр сосковой резины, м.

Во время такта «сжатие» стенки сосковой резины с пористой полостью смыкаются под соском вымени коровы. Тогда максимальная величина прогиба

стенки сосковой резины с пористой полостью определяется по формуле:

$$w_{п.п.} = \frac{d_B}{2}. \quad (11)$$

Приравняв правые части выражений (11) и (9), а также выразив значение $p_{см}$, с учетом формулы (10) получим теоретическую зависимость величины вакуума смыкания стенок сосковой резины с пористой полостью от толщины ее стенки с учетом модуля упругости материала, из которого изготовлена сосковая резина:

$$p_{см} = - \frac{0,1875 E_{упр}}{(l_{п.п.} - l_{пр.})^2} \times \frac{(d_n^4 - d_b^4)}{(l_{п.п.}^2 + 2l_{п.п.} l_{пр.} - 2l_{\Gamma} l_{п.п.} + 3l_{пр.}^2 - 4l_{\Gamma} l_{пр.})}. \quad (12)$$

Проанализировав формулу (12), отмечаем, что величина вакуума смыкания стенок сосковой резины с пористой полостью зависит от ее модуля упругости, внешнего и внутреннего диаметров (толщины стенки), а также конструктивных параметров доильного стакана.

Подставив численные значения в формулу (12) и проведя расчеты, получим графические зависимости величины вакуума смыкания стенок сосковой резины ($p_{см}$) от толщины ее стенок, отображенные на рисунке 2.

Так как величина вакуума смыкания стенок сосковой резины согласно предъявляемым требованиям должна составлять $p_{см} = 6 \dots 11$ кПа, то обозначим данные значения на рисунке 2 как минимальное $p_{см1} = 6$ кПа и максимальное $p_{см2} = 11$ кПа допустимого значения.

Принимая, что $l_{\Gamma} = 0,07$ м; $d_B = 0,024 \dots 0,016$ м; $d_n = 0,026$ м; $l_{\Gamma} = 0,155$ м; $E_{упр} = 1 \cdot 10^6 \dots 2 \cdot 10^6$ Па; $l_{пр} = 0,03$ м; $E_c = 4 \cdot 10^5$ Па; $p_B = 4 \cdot 10^4$ Па, и анализируя графические зависимости на рисунке 2, установлено:

– при $E_{упр} = 1 \cdot 10^6$ Па допустимая величина вакуума смыкания будет обеспечиваться при толщине стенки сосковой резины с пористой полостью $\delta_{п.п.} = 2,2 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$ м;

– при $E_{упр} = 2 \cdot 10^6$ Па величина вакуума смыкания будет находиться в пределах $p_{см} = 6 \dots 11$ кПа при толщине стенки сосковой резины с пористой полостью $\delta_{п.п.} = 1,0 \cdot 10^{-3} \dots 1,9 \cdot 10^{-3}$ м.

Заключение

В результате анализа полученных результатов установлено:

1. Величина вакуума смыкания стенок сосковой резины с пористой полостью зависит от конструктивных параметров доильного стакана, длины и толщины стенок пористой полости, а также ее модуля упругости.

2. Анализ графических зависимостей на рисунке 2 показал, что оптимальная толщина стенки сосковой резины с пористой полостью находится в пределах: $\delta_{п.п.} = 2,2 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$ м при $E_{упр} = 1 \cdot 10^6$ Па; $\delta_{п.п.} = 1,0 \cdot 10^{-3} \dots 1,9 \cdot 10^{-3}$ м при $E_{упр} = 2 \cdot 10^6$ Па.

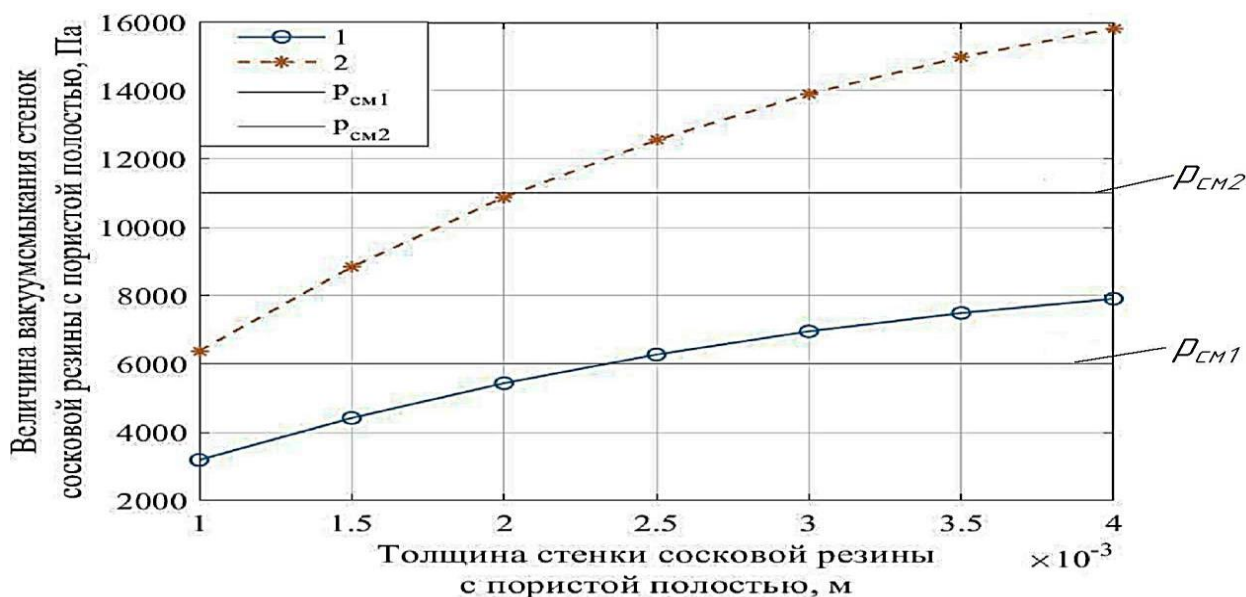


Рисунок 2. Графические зависимости величины вакуума смыкания стенок сосковой резины с пористой полостью от их толщины при различных значениях модуля упругости: 1 – зависимость величины вакуума смыкания стенок сосковой резины от их толщины при модуле упругости $E=1 \cdot 10^6$ Па; 2 – зависимость величины вакуума смыкания стенок сосковой резины от их толщины при модуле упругости $E=2 \cdot 10^6$ Па; $p_{см1}$ – минимальное значение величины вакуума смыкания стенок сосковой резины, Па; $p_{см2}$ – максимальное значение величины вакуума смыкания стенок сосковой резины, Па;

3. При выполнении в сосковой резине по длине соска коровы полости, заполненной пористым материалом с воздухом, будет обеспечиваться равномерное распределение давления на сосок вымени коровы, равномерное сжатие и массаж по всему периметру соска, что способствует полному и быстрому выдаиванию, тем самым сокращая время машинного доения. Следовательно, сокращается время работы доильной установки и снижаются затраты энергии на процесс машинного доения.

4. Получены зависимости, позволяющие определить конструктивные и технологические параметры пористой полости в стенке сосковой резины доильного стакана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Курак, А.С. Технологические основы машинного доения и контроль качества молока / А.С. Курак, Н.С. Яковчик, И.В. Брыло. – Минск: БГАТУ. – 2016. – 136 с.
2. Карташов, Л.П. Доильный стакан с изменяющейся плоскостью сжатия / Л.П. Карташов, В.В. Трубников // Известия Оренбургского ГАУ. – 2010. – № 26. – С. – 65-67.
3. Андрианов, Е.А. К вопросу повышения продуктивности коров и эффективности машинного доения / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов // Материалы международной научно-практической конф. «Инновационные направления развития технологий и тех-

нических средств механизации сельского хозяйства», Воронеж, 25 декабря 2015 г. – С. 10-14.

4. Палий, А.П. Инновации в исследовании эксплуатационных свойств сосковой резины доильных аппаратов / А.П. Палий // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 19. – С. 51-54.

5. Передня, В.И. Оптимальные сроки эксплуатации сосковой резины / В.И. Передня, А.А. Кувшинов // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – № 2. – С. 226-233.

6. Доильный стакан: пат. 22713 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т. – № 20180017, заявл. 18.01.2018; опубл. 01.08.2019 // Офиц. бюл. / Нац. Центр интел. собственности. – 2019. – № 4. – С. 5.

7. Подскребко, М.Д. Сопrotивление материалов: учебник / М.Д. Подскребко. – Минск: Высшая школа. – 2007. – 797 с.

8. Королев, В.Ф. Доильные машины. Теория, конструкция и расчет / В.Ф. Королев. – Москва: Машиностроение, 1969. – 140 с.

9. Борознин, В.А. Определение оперативного ресурса сосковой резины / В.А. Борознин, А.В. Борознин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 4. – С.15-16.

10. Канапина, Н.М. Оценка жесткости сосковой резины / Н.М. Канапина, Л.Р. Загидуллин // Учен. зап. Казан. гос. акад. ветеринар. медицины им. Н.Э. Баумана. – 2012. – Т. 212. – С. 298-302.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.02.2022