УДК 637.116.2:636.2

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-54-59

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НА СОСОК ЖИВОТНОГО ВО ВРЕМЯ ТАКТА СЖАТИЯ

¹Доровских Владимир Иванович¹Жариков Вадим Сергеевич

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Выполнен анализ состояния проблемы обеспечения качества процесса доения животных, влияния конструктивно режимных параметров доильных аппаратов на физиологию животных. Рассмотрена априорная информация о методах и технических средствах определения и оценки процесса взаимодействия сосковой резины и соска при доении. На основе положений объединенной теории давления сосковой резины на сосок (американская модель) и классической теории оболочек определен характер изменения давления сосковой резины на сосок при смыкании во время такта сжатия, установлены граничные значения функции. Разработан способ, основанный на измерении давления на сосок конкретной сосковой резины с известными характеристиками и использовании этих данных для определения координат промежуточной точки зависимости давления на сосок от толщины стенок чулка. Характер зависимости представляет собой уравнение второго порядка, при этом давление сосковой резины на сосок с увеличением толщины стенок вначале увеличивается от нуля до максимума, а затем снижается и достигает нулевого значения в точке, где критическое давление равно рабочему вакууму. Для сосковой резины модели ДД 00.041А давление на сосок при различных значениях рабочего вакуума равно: 48 кПа – 9,6 кПа; 46 кПа – 9,5 кПа; 44 кПа – 9,4 кПа; 42 кПа – 9,3 кПа; 40 кПа – 9,2 кПа. Толщина стенки, при которой давление на сосок равно нулю при различных значениях рабочего вакуума составляет: 48 кПа – 4,30 мм; 46 кПа – 4,25 мм; 44 кПа – 4,19 мм; 42 кПа – 4,12 мм; 40 кПа – 4,06 мм. Полученная модель позволяет прогнозировать характер взаимодействия сосковой резины и соска при различных значениях конструктивных параметров доильного аппарата и режимов процесса доения.

Ключевые слова: доильный аппарат, сосковая резина, давление на сосок, критическое давление, деформация

A STUDY OF THE IMPACT OF THE LINER MILKING MACHINE NIPPLE OF THE ANIMAL DURING THE COMPRESSION STROKE

¹Dorovskikh Vladimir¹Zharikov Vadim

¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. The analysis of the state of the problem of ensuring the quality of the milking process of animals, the influence of the design and operating parameters of milking machines on the physiology of animals is carried out. A priori information on methods and technical means of determining and evaluating the process of interaction between the teat rubber and the teat during milking is considered. On the basis of the provisions of the combined theory of pressure teat rubber nipple (American model) and the classical shell theory, the character of the pressure change for the liner on the nipple at the closing during the compression stroke, the maximum value of the function. A method has been developed based on determining the pressure on the nipple of a specific nipple rubber with known characteristics and using this data to determine the coordinates of the intermediate point of the dependence of the pressure on the nipple on the thickness of the walls of the stocking. The nature of the dependence is a second-order equation, in which the pressure of the teat rubber on the teat with increasing wall thickness initially increases from zero to a maximum, and then decreases and reaches zero at the point where the critical pressure is equal to the working vacuum. For the nipple rubber model DD 00.041 A, the pressure on the nipple at different values of the working vacuum is equal to: 48 kPa – 9,6 kPa; 46 kPa – 9,5 kPa; 44 kPa – 9,4 kPa; 42 kPa – 9,3 kPa;

40 kPa – 9,2 kPa. The wall thickness at which the pressure on the nipple is zero at different values of the working vacuum is: 48 kPa – 4.30 mm; 46 kPa – 4.25 mm; 44 kPa – 4.19 mm; 42 kPa – 4.12 mm; 40 kPa – 4.06 mm. The resulting model allows us to predict the nature of the interaction between the teat rubber and the teat at different values of the design parameters of the milking machine and the modes of the milking process.

Keywords: milking machine, teat rubber, pressure on the nipple, critical pressure, deformation

Введение. Эффективность работы доильного аппарата определяется в основном соответствием его конструктивно-режимных параметров морфологическим и функциональным свойствам вымени животных.

Непосредственный контакт с выменем животного осуществляет сосковая резина, установленная в гильзе доильного стакана. Сжатие сосковой резины с определенной частотой и длительностью тактов определяет величину импульса воздействия вакуума на сосок.

Другой важной характеристикой качества работы доильного аппарата является давление сосковой резины на сосок животного во время такта сжатия.

Исследования, выполненные рядом ученых, показали, что величина этого давления более 12 кПа ухудшает приток артериальной крови и приводит к гиперкератозу конца соска, при давлении менее 8 кПа происходит ухудшение стимуляции молокоотдачи, что приводит к снижению интенсивности молоковыведения [1 – 3]. Таким образом, принято считать, что оптимальный диапазон давления на конец соска – 8 – 12 кПа.

Однако теоретические исследования, выполненные отечественными и зарубежными учеными (Л.П. Карташовым, И.Н. Красновым, Э.А. Келписом, Э.А. Матисаном, Н.Н. Белянчиковым, И.В. Жиловым, Ю.С. Караваевым, А.С. Веприцким, Г. Майном, Д. Рейнеманом, М. Девисом), не дают однозначного решения проблемы определения и оценки процесса взаимодействия сосковой резины и соска при доении и даже противоречат друг другу [1 – 4].

Исследования, представленные в работе [5] позволяют формализовать величину воздействия сосковой резины на сосок в диапазоне изменений толщины чулка сосковой резины от нуля до критического значения. Однако определение максимального давления сосковой резины на сосок по формуле предложенной Келписом Э.А. и Матисаном Э.А. [4] значительно усложняет использование этого метода из-за необходимости определения безразмерного параметра критической нагрузки экспериментальным путем. Более предпочтительным и точным может быть способ, основанный на определении (измерении) давления на сосок конкретной сосковой резины с известными характеристиками и использовании этих данных для определения координат промежуточной точки графика зависимости давления на сосок от толщины стенок чулка.

Материалы и методы. В работе использованы положения, изложенные в статье «Теоретическое исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок во время такта сжатия» [5], классическая теория оболочек [6, 7], методы исследования функций [8], положения объединенной теории давления на сосок со стороны сосковой резины (американская модель) [3].

Результаты и их обсуждение. Согласно исследованиям Рейнемана, Майна, Вильямса, Дугласа, Побединского и других ученых величина сверхдавления на конец соска зависит от следующих факторов: толщины и жесткости сосковой резины, величины ее натяжения в доильном стакане, рабочего вакуума [1 – 3].

Результаты, полученные в этих исследованиях (рисунок 1), показывают, что сверхдавление (ОР-СД), оказываемое сосковой резиной на соски, изменяется следующим образом:

- увеличивается, прежде всего, с увеличением рабочего вакуума из-за большей разности давления, действующего поперек стенок сосковой резины;
- увеличивается, с увеличением натяжения при установке сосковой резины в доильном стакане;
- первоначально увеличивается, с увеличением глубины погружения соска в сосковую резину, но затем начинает уменьшаться почти до нуля, когда конец соска достигает основания цилиндрической части сосковой резины;
- вначале постепенно увеличивается, но затем начинает уменьшаться с: 1) увеличением толщины стенок сосковой резины, 2) увеличением жесткости резины, 3) увеличивающимся сопротивлением сжатию.

Рисунок 1 – Зависимости взаимодействия соска с 18 типами сосковых резин, выпускаемых фирмами Франции, Германии, Швеции и США

Анализ графика (рисунок 1), демонстрирующего изменение давления сосковой резины на сосок ($P_{сд}$), в зависимости от толщины стенок чулка сосковой резины (δ), показал, что эта зависимость может быть представлена уравнением второго порядка типа: $P_{сд} = a\delta^2 + b\delta + c$.

На графике можно выделить две характерные точки: «А» в которой $\delta = 0$ и $P_{сд} = 0$; «С» в которой $\delta = \delta_k$ и $P_{сд} = 0$ и некоторую промежуточную точку «В» с координатами $\delta = \delta_2$ и $P_{сд} = P_2$.

Если для уравнения второго порядка известны координаты 3-х различных точек его графика $(x_1; y_1)$, $(x_2; y_2)$, $(x_3; y_3)$, то его коэффициенты могут быть найдены так [5]:

$$a = \frac{y_3 - \frac{x_3(y_2 - y_1) + x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1}}{x_3(x_3 - x_1 - x_2) + x_1x_2}, -b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - a(x_1 + x_2), -c = \frac{x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1} + ax_1x_2.$$

Для выделенных нами точек коэффициенты уравнения будут равны:

$$a = -\frac{P_2}{\delta_2(\delta_k - \delta_2)}; \quad b = P_2 \left(\frac{1}{\delta_2} + \frac{1}{\delta_k - \delta_2} \right); \quad c = 0.$$

Уравнение примет вид:

$$P_{сд} = -\frac{\delta^2 P_2}{\delta_2(\delta_k - \delta_2)} + \delta P_2 \left(\frac{1}{\delta_2} + \frac{1}{\delta_k - \delta_2} \right) \quad (1)$$

Величина δ_k равна толщине стенки чулка сосковой резины, при которой критическое давление, соответствующее началу деформации чулка, равно перепаду давлений между межстенной и подсосковой камерами доильного стакана во время такта сжатия.

Критическое давление, при котором начинается деформация чулка сосковой резины, определяется из выражения [7]:

$$P_k = \frac{E\delta^3}{4(1 - \mu^2)R^3}$$

где P_k – критическое давление; E – модуль упругости материала; M – коэффициент Пуассона; δ – толщина стенки чулка сосковой резины; R – радиус чулка сосковой резины.

С учетом того, что для резины $\mu = 0,5$ выражение примет вид:

$$P_{\kappa} = \frac{E\delta^3}{3R^3} \quad (2)$$

В точке «С» критическое давление равно вакууму в подсосковой камере во время такта сжатия, которое можно принять равным рабочему вакууму (P_p).

Тогда толщина стенки чулка сосковой резины, соответствующая этому условию, будет равна:

$$\delta_{\kappa} = 1,44R^3 \sqrt{\frac{P_p}{E}}. \quad (3)$$

Величину давления сосковой резины на сосок (P_2) в точке «В» можно определить экспериментально для конкретной модели сосковой резины используя измерительное устройство [9].

Так для сосковой резины модели ДД 00.041А указанное давление при различных значениях рабочего вакуума равно: 48 кПа – 9,6 кПа; 46 кПа – 9,5 кПа; 44 кПа – 9,4 кПа; 42 кПа – 9,3 кПа; 40 кПа – 9,2 кПа. Параметры сосковой резины следующие: длина чулка (l) – 125 мм; радиус чулка (R) – 13 мм; толщина стенки (δ) – 2 мм; площадь сечения чулка (S) – 163 мм²; модуль упругости материала (E) – 3,92 МПа.

Толщина стенки, при которой давление на сосок в соответствии с зависимостью 3 равно нулю при различных значениях рабочего вакуума составляет: 48 кПа – 4,30 мм; 46 кПа – 4,25 мм; 44 кПа – 4,19 мм; 42 кПа – 4,12 мм; 40 кПа – 4,06 мм. Полученный результат примерно соответствует данным, полученным американскими учеными (рисунок 1).

На рисунке 2 представлены графики изменения давления сосковой резины на сосок при ее смыкании в зависимости от толщины стенки чулка для различных значений рабочего вакуума.

Рисунок 2 - Графики изменения давления сосковой резины на сосок при рабочем вакууме:
1 – 40 кПа; 2 – 44 кПа; 3 – 48 кПа

Из графика видно, что максимум функции возрастает от 9,2 кПа до 9,6 кПа, при увеличении рабочего вакуума максимум функции и его ордината возрастают. Толщина стенки чулка сосковой резины, при которой давление на сосок становится равной нулю, с изменением рабочего вакуума возрастает от 4,06 мм до 4,30 мм.

Полученная математическая модель может использоваться для оптимизации конструктивных параметров сосковых резин при их проектировании, а также при разработке средств приборного контроля состояния сосковой резины в процессе ее эксплуатации [10].

Заключение. На основе положений объединенной теории давления сосковой резины на сосок (американская модель), классической теории оболочек и параметров конкретных моделей сосковых резин получена зависимость давления сосковой резины на сосок при смыкании от толщины ее стенок и рабочего вакуума.

Характер зависимости представляет собой уравнение второго порядка, при этом давление сосковой резины на сосок с увеличением толщины стенок вначале увеличивается от нуля до максимума, а затем снижается и достигает нулевого значения в точке, где критическое давление равно рабочему вакууму.

Полученная модель позволяет прогнозировать характер взаимодействия сосковой резины и соска при различных значениях конструктивных параметров доильного аппарата и режимов процесса доения.

Список литературы

1. Mein G.A., Williams D.M.D., Reinemann D.J. NMC. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1. Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat // 42nd Annual Meeting of the National Mastitis Council. – Fort Worth Texas. – USA. – January 26-29. – 2003.
2. Побединский В., Гончар А., Иойшер А. Методы и приборы для оценки работоспособности доильных аппаратов // *Stiinta agricola*. – 2008. – № 2. – С. 55 – 60.
3. Davis M.A., Reinemann D.J., Mein G.A. Relationships between physical characteristics and milking characteristics of the aging milking liner. Written for presentation at the 2000 ASAE annual international meeting, Milwaukee. – Wisconsin. – July 10 – 13.
4. Карташов Л.П. Машинное доение коров. – М.: Колос. – 1982. – 104 с.
5. Доровских В.И., Жариков В.С. Теоретическое исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок во время такта сжатия // *Наука в центральной России*. – 2019. – №2. – С. 103 – 107.
6. Михайловский Е. И. Математические модели механики упругих тел: учеб. пособие для мат. направления и специальностей. – Сыктывкар. – 2004. – 322 с.
7. Григोलук Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек – М: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». – 1978. – 360 с.
8. Элементарные функции и их графики. URL: http://www.econom.misis.ru/S/Hel/Matem/Para_3t.htm/ (дата обращения 12.01.2021).
9. Доровских В.И., Доровских Д.В., Аتكешов О.А. Исследование режимов настройки доильных аппаратов с помощью универсального прибора для контроля периодов пульсаций и измерения давления сосковой резины на конец соска // *Наука в центральной России*. – 2017. – № 1. – С. 28 – 35
10. Доровских В.И., Доровских Д.В., Хохлов И.Н. Повышение качества доения регулированием давления сосковой резины на сосок // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2012. – № 6. – С. 12 – 13.

References

1. Mein G.A., Williams D.M.D., Reinemann D.J. NMC. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1. Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat // 42nd Annual Meeting of the National Mastitis Council. – Fort Worth Texas. – USA. – January 26-29. – 2003.
2. Pobedinskij V., Gonchar A., Iojsher A. Metody i pribory dlja ocenki rabotosposobnosti doil'nyh apparatov // *Stiinta agricola*. – 2008. – № 2. – S. 55 – 60.
3. Davis M.A., Reinemann D.J., Mein G.A. Relationships between physical characteristics and milking characteristics of the aging milking liner. Written for presentation at the 2000 ASAE annual international meeting, Milwaukee. – Wisconsin. – July 10 – 13.
4. Kartashov L.P. Mashinnoe doenie korov. – M.: Kolos. – 1982. – 104 s.
5. Dorovskih V.I., Zharikov V.S. Teoreticheskoe issledovanie processa vozdejstviya soskovoj reziny na sosok vo vremja takta szhatija // *Nauka v central'noj Rossii*. – 2019. – №2. – S. 103 – 107.
6. Mihajlovskij E. I. Matematicheskie modeli mehaniki uprugih tel: ucheb. posobie dlja mat. napravlenija i special'nostej. – Syktyvkar. – 2004. – 322 s.
7. Grigoljuk Je.I., Kabanov V.V. Ustojchivost' obolochek – M: Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury izdatel'stva «Nauka». – 1978. – 360 s.
8. Jelementarnye funkicii i ih grafiki. URL: http://www.econom.misis.ru/S/Hel/Matem/Para_3t.htm/ (data obrashhenija 12.01.2021).
9. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Atkeshov O.A. Issledovanie rezhimov nastrojki doil'nyh apparatov s pomoshh'ju universal'nogo pribora dlja kontrolja periodov pul'sacij i izmerenija davlenija soskovoj reziny na konec soska // *Nauka v central'noj Rossii*. – 2017. – № 1. – S. 28 – 35

10. Dorovskikh V.I., Dorovskikh D.V., Hohlov I.N. Povyshenie kachestva doeniya regulirovaniem davleniya soskovoij reziny na sosok // Tehnika v sel'skom hoz'jajstve. – 2012. – № 6. – S. 12 – 13.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskikh50@mail.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorovskikh50@mail.ru.

Zharikov Vadim – engineer of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 67.05: 66-933.4

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-59-69

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ НОЖ РЫЧАЖНОГО ТИПА ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ

¹Петрашев Александр Иванович

²Таха Фирас

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²Технический университет Аль-Фурат Аль-Авсат – Технический колледж Аль-Муссаиб

Реферат. Задачу по обеспечению машинно-тракторного парка недорогими консервационными составами следует решать путем организации в аграрных предприятиях участков по их малотоннажному производству. Предложено оснащать такие участки гидравлическим ножом рычажного типа для резки твердо-пластичных компонентов консервационных составов. Определены коэффициенты сцепления твердо-пластичных компонентов со сталью, влияющие на кинематические параметры рычажного ножа: битум по сухой стали 2,42 – 4,22; битум по стали с отработанным маслом 0,51 – 0,6; присадка Эмульгин по сухой стали 1,1 – 0,49. Изготовлен компактный гидравлический нож, содержащий стол для размещения компонентов, основание со стойками, шарнирно закрепленные на стойках рычаги с лезвием и гидроцилиндры для подъема рычагов. Показано, что для привода ножа подходит гидравлический стенд с давлением насоса до 10 МПа. Проведены производственно-технологические исследования гидравлического ножа рычажного типа при резке бухт с битумом и картонных барабанов с присадкой Эмульгин. В процессе исследований определены: высота подъема лезвия 380 мм при ходе штока гидроцилиндра 200 мм; длина лезвия рабочая 520 мм; сила резки 37 кН; производительность 100 кг/ч, габаритные размеры 1170 x 820 x 1030 мм. Установленные технические показатели рычажного ножа позволяют считать его конструкцию соответствующей технологии малотоннажного производства консервационных составов.

Ключевые слова: твердо-пластичный компонент, коэффициент сцепления, рычажный нож, сила резки.