

5. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 338 с.
6. Хайлис, Г. А. Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.
7. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г. Н. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
9. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
10. Apparatus for cleaning large containers (аппарат для чистки больших емкостей) DE102009035046 (A1); пат. Германии, МПК<sup>7</sup> B08B9/0813; B08B9/0936 – Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 03.02.2011.
11. Silo cleaning process (способ очистки силоса): пат. USA № 4,764,221, МПК<sup>7</sup> B08B 1/00 / Авторы: Wesley D. Hartwigsen; Alan D. – Дата публикации: 16.08.1988.
12. Vorrichtung zur Innenreinigung eines Silos (устройство для внутренней очистки силоса): пат. Германии DE102014114145 (A1), МПК<sup>7</sup> B08B9/08; B08B9/093 / Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 29.08.2014.
13. Reinigungsvorrichtung (устройство очистки): пат. Германии DE 202012104022 (A1), МПК<sup>7</sup> B08B9/08 / Автор: Лоббе Индустрисервис ГмбХ & Ко (Германия). – Дата публикации 19.10.2012.
14. Internal cleaning device for silos has trolley on fixed guide which can be fitted to longitudinal axis of container (внутренняя очистка устройств для силосов на неподвижных направляющих, которые могут быть установлены на продольной оси): пат. Германии DE 10256560, МПК<sup>7</sup> B08B9/093 / Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 04.12.2002.
15. Юдин, В. М. Применение современных ресурсосберегающих технологий очистки машин и оборудования в сельском хозяйстве / В. М. Юдин. – М.: Информагротех, 1998. – 48 с.
16. Дегтерев, Г. П. Механизм очистки загрязненных поверхностей молочного оборудования / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 1999. – № 7. – 35 с.
17. Христофорова, И. А. Проведение активного эксперимента при разработке состава шихты для производства керамических изделий: метод. указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Статистические методы исследования шихт в стекольной промышленности» / И. А. Христофорова. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000. – 24 с.
18. Каледина, Н. Б. Влияние параметров печатного процесса на липкость краски / Н. Б. Каледина, Д. М. Медяк // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2011. – № 9 (147). – С. 23–27.
19. Голубцова, Е. С. Влияние температуры и времени спекания, марки порошка и количества добавки диоксида иттрия на теплопроводность нитрида алюминия / Е. С. Голубцова, Б. А. Каледина, Н. Б. Каледина // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 88–90.
20. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования: учеб.-метод. комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

УДК 637.116.2

Поступила в редакцию 05.09.2018  
Received 05.09.2018

**С. Н. Бондарев, А. В. Китун**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: seregabondarev1991@yandex.ru*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ ПОЛОСТИ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА**

Рассмотрен вопрос определения основных геометрических параметров пористой полости, расположенной в сосковой резине по высоте тела соска животного.

*Ключевые слова:* сосковая резина, доильный стакан, пористая полость, эластичность, коэффициент жесткости, адаптивная деформация.

**S. N. Bondarev, A. V. Kitun**

*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: seregabondarev1991@yandex.ru*

## **DETERMINATION OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE POROUS CAVITY OF THE NIPPLE RUBBER OF THE MILKING MACHINE**

The question of determination of the basic geometrical parameters of the porous cavity located in the nipple rubber on height of a body of a nipple of an animal is considered.

*Keywords:* nipple rubber, milking glass, porous cavity, elasticity, stiffness coefficient, adaptive deformation.

## Введение

В процессе машинного доения при наступлении такта «сжатие» происходит сжатие соска сосковой резиной. Ввиду ее цилиндрической формы и физико-механических свойств сжатие происходит только с двух сторон, при этом происходит сдавливание тела соска в двух направлениях, а не обжатие его по всему диаметру. Также стоит учесть то, что сосковая резина по всей своей длине имеет одинаковую толщину и жесткость, а соски вымени у каждого животного различны по конфигурации и длине, что приводит к неполноценному копированию рельефа соска вымени, слабому массирующему эффекту и снижению молокоотдачи животного [1, 2].

## Основная часть

Для обеспечения более полного копирования рельефа сосков вымени животных независимо от их размеров и форм авторами была предложена (рисунок 1) сосковая резина 2 с наружной 3 и внутренней 5 стенками, между которыми по высоте тела соска 1 выполнена пористая полость 4, заполненная газообразным веществом, при этом внутренняя стенка 5 сосковой резины 2 имеет большую эластичность, чем наружная 3 [1].

Внутренняя стенка имеет большую эластичность для более полного охватывания соска и копирования его рельефа независимо от его конфигурации. В то же время чем больше эластичность внутренней стенки сосковой резины – способность деформироваться при внешнем воздействии с последующим принятием начальных размеров после снятия нагрузки, тем меньше ее жесткость – способность противостоять деформации при внешнем воздействии. Для более адаптивной деформации под конфигурацию соска и обеспечения релаксационного воздействия на вымя животного внутренний слой сосковой резины, который взаимодействует с соском, рекомендуется выполнить с жесткостью, равной жесткости соска вымени животного. Для этого определим жесткость соска вымени животного в процессе доения.

В процессе доения сосок вымени животного подвергается растяжению из-за воздействия силы вакуума, с помощью которой происходит выдаивание молока из соска. Из закона Гука при растяжении-сжатии формула по определению силы вакуума, с помощью которой происходит растяжение соска вымени, примет вид:

$$F_{\text{вак}} = k_c \cdot \Delta l, \quad (1)$$

где  $k_c$  – коэффициент жесткости соска,  $H/m$ ;  $\Delta l$  – удлинение соска в процессе доения,  $m$ .

Зная величину вакуумметрического давления, при котором происходит доение, а также поперечную площадь подсосковой камеры сосковой резины, в которой происходит выдаивание молока, можем определить силу вакуума, с помощью которой происходит процесс удлинения соска:

$$F_{\text{вак}} = P_{\text{вак}} \cdot S_{\text{п.к.}}, \quad (2)$$

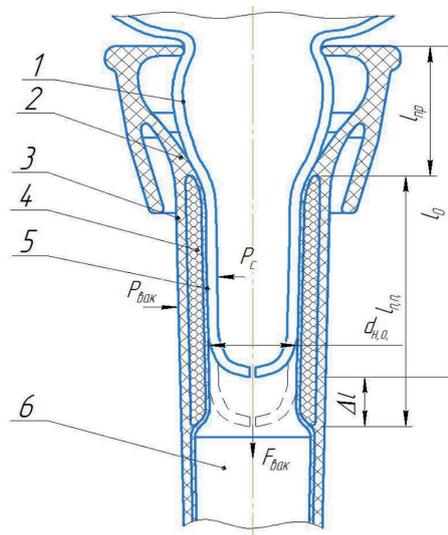
где  $P_{\text{вак}}$  – величина вакуумметрического давления при доении,  $Pa$ ;  $S_{\text{п.к.}}$  – площадь подсосковой камеры в поперечном сечении,  $m^2$ .

Откуда площадь подсосковой камеры в поперечном сечении определим по формуле:

$$S_{\text{п.к.}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{с.р.}}^2}{4}, \quad (3)$$

где  $d_{\text{с.р.}}$  – внутренний диаметр сосковой резины,  $m$ .

В процессе доения под действием вакуума происходит не только выдаивание молока из соска, но также и удлинение последнего.



1 – сосок вымени животного; 2 – сосковая резина; 3 – наружный жесткий слой сосковой резины; 4 – пористая полость; 5 – внутренний эластичный слой сосковой резины; 6 – подсосковая камера

Рисунок 1. – Расчетная схема к определению параметров сосковой резины с пористой полостью

Так как сосок в поперечном сечении имеет кольцеобразную форму (рисунок 1), определим относительное удлинение соска как стержня переменного сечения, подверженного растяжению со стороны силы  $F_{\text{вак}}$  [3]:

$$\Delta l = \frac{F_{\text{вак}} \cdot l_0}{E_c \cdot S_c}, \quad (4)$$

где  $S_c$  – площадь соска вымени, подверженная силе вакуума,  $m^2$ ;  $E_c$  – модуль упругости тканей соска,  $Па$ ;  $l_0$  – длина соска до начала доения,  $m$ .

Так как стенки сосковой резины во время доения плотно обжимают тело соска, то растягивающему воздействию силы вакуума подвергается только нижнее основание соска, которое сообщается с подсосковой камерой 6 (рисунок 1). Вследствие этого формула по определению площади соска вымени, подверженной силе вакуума, примет вид:

$$S_c = \frac{\pi \cdot d_{\text{н.о.}}^2}{4}, \quad (5)$$

где  $d_{\text{н.о.}}$  – диаметр нижнего основания соска,  $m$ .

Подставив значения формул (2), (3) и (5) в (4), после преобразований получим:

$$\Delta l = \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E_c \cdot d_{\text{н.о.}}^2}. \quad (6)$$

Определив удлинение соска и величину силы вакуума, выразим из формулы (1) значение коэффициента жесткости соска вымени:

$$k_c = \frac{F_{\text{вак}}}{\Delta l}. \quad (7)$$

Так как для более адаптивной деформации внутренней стенки сосковой резины в зависимости от рельефа соска и улучшенного релаксационного воздействия на вымя жесткость внутреннего слоя должна равняться жесткости соска, в таком случае формула для определения жесткости внутренней эластичной стенки сосковой резины примет вид:

$$k_{\text{в.с.}} = k_c = \frac{F_{\text{вак}}}{\Delta l}. \quad (8)$$

Внутренняя эластичная стенка сосковой резины имеет форму тонкостенной оболочки, в таком случае ее жесткость также можно определить по формуле [4]:

$$k_{\text{в.с.}} = \frac{E_{\text{в.с.}} \cdot \delta_{\text{в.с.}}}{12(1 - \mu_{\text{в.с.}}^2)}, \quad (9)$$

где  $E_{\text{в.с.}}$  – модуль упругости резины внутренней стенки сосковой резины,  $Па$ ;  $\delta_{\text{в.с.}}$  – толщина стенки внутреннего эластичного слоя сосковой резины,  $m$ ;  $\mu_{\text{в.с.}}$  – коэффициент Пуассона внутреннего эластичного слоя сосковой резины.

Так как жесткость внутреннего эластичного слоя уже определена, то выразим из формулы (9) необходимую толщину стенки внутреннего эластичного слоя сосковой резины, который будет обладать жесткостью, равной жесткости соска:

$$\delta_{\text{в.с.}} = \frac{k_{\text{в.с.}} \cdot 12(1 - \mu_{\text{в.с.}}^2)}{E_{\text{в.с.}}}. \quad (10)$$

Внутренняя стенка сосковой резины имеет большую эластичность для более полного охвата соска и копирования его рельефа независимо от его конфигурации, в таком случае длина внутренней эластичной стенки должна равняться длине соска вымени, с учетом его удлинения в процессе доения, но без учета длины присоска сосковой резины:

$$l_{\text{в.с.}} = l_c - l_{\text{пр}} = l_0 + \Delta l - l_{\text{пр}} = l_0 + \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E_c \cdot d_{\text{н.о.}}^2} - l_{\text{пр}}, \quad (11)$$

где  $l_{\text{пр}}$  – длина присоска сосковой резины,  $m$ .

Во время такта «сжатие» за счет разности давлений в межстенной и подсосковой камерах происходит сжатие соска сосковой резиной. Давление обжатия передается от наружного жесткого слоя 3 (рисунок 1) на пористую полость 4, которая, частично сжимаясь и амортизируя резкое сжатие, передает усилие на внутренний эластичный слой 5.

Формула по определению силы обжатия пористой полости примет вид:

$$F_{\text{обж}} = \frac{E_{\text{п.п.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot \delta_{\text{п.п.}}}, \quad (12)$$

где  $E_{\text{п.п.}}$  – модуль упругости пористой полости, Па;  $\mu_{\text{п.п.}}$  – коэффициент Пуассона для пористой полости;  $\delta_{\text{сж}}$  – толщина пористой полости в сжатом состоянии, м;  $\delta_{\text{п.п.}}$  – толщина пористой полости в нейтральном положении, м.

Также силу обжатия соска вымени сосковой резиной можно определить по формуле [5]:

$$F_{\text{обж}} = \frac{E_{\text{с.р.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \mu \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot \delta}, \quad (13)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона сосковой резины;  $S_{\text{п.к.}}$  – площадь подсосковой камеры сосковой резины, контактируемой с соском, м<sup>2</sup>;  $E_{\text{с.р.}}$  – модуль упругости сосковой резины, Па;  $\delta_{\text{сж}}$  – толщина сжатого соска, м;  $\delta$  – толщина соска до сжатия, м.

Так как сила обжатия сосковой резины  $F_{\text{обж}}$  уже определена формулой (13), то, приравняв два этих выражения и выразив  $\delta_{\text{п.п.}}$ , получим формулу для определения толщины пористого слоя сосковой резины:

$$\delta_{\text{п.п.}} = \frac{E_{\text{п.п.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot F_{\text{обж}}} = \frac{2 \cdot E_{\text{п.п.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot \delta}{E_{\text{с.р.}} \cdot \mu}. \quad (14)$$

За счет герметичности пористой полости и сжатия сосковой резины от срединной части к основаниям часть объема пористой полости перетекает от нижнего основания соска к его срединной части, обеспечивая тем самым более равномерное и безболезненное обжатие соска по всей его высоте при увеличенной площади его контакта с сосковой резиной.

Пористая полость для более адаптивной деформации и релаксационного воздействия должна располагаться по высоте тела соска, также как и внутренний эластичный слой, а так как их длины равны, то формула по определению длины пористой полости примет вид:

$$l_{\text{п.п.}} = l_{\text{в.с.}} = l_0 + \Delta l - l_{\text{пр}} = l_0 + \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E \cdot d_{\text{п.о.}}^2} - l_{\text{пр}}. \quad (15)$$

### Заключение

1. Выполнение в сосковой резине по высоте тела соска вымени животного пористой полости обеспечит равномерное и безболезненное сжатие соска по всей высоте контакта его с сосковой резиной.

2. Выполнение внутреннего эластичного слоя одинаковой жесткости с соском позволит обеспечить наибольшую адаптацию сосковой резины во время сжатия под рельеф соска животного вне зависимости от их геометрических размеров и форм.

3. Анализ формул (8)–(10) показал, что толщина внутреннего эластичного слоя напрямую зависит от его жесткости и физико-механических свойств соска вымени животного.

4. Для обеспечения бесстрессового доения и полноценной стимуляции молокоотдачи длина пористой полости сосковой резины должна соответствовать средней длине сосков у животных в дойном стаде, с учетом их удлинения в процессе доения, но без учета длины присоска сосковой резины.

5. Как показывает аналитическая зависимость (14), толщина пористой полости сосковой резины главным образом зависит от физико-механических свойств ее материала и силы сжатия сосковой резины.

## Литература

1. Доильный стакан: пат. 647877 Рос. Федерации; МПК А01J5/08 / А. В. Китун, С. Н. Бондарев, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик, Б. К. Салаев, В. А. Эвиев, В. Л. Барышев; заявитель Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова – № 2017110587, заявл. 29.03.2017, опубл. 21.03.2018 // Офиц. бюл. / Федер. служба интел. собств. – 2018. – № 9. – С. 145.
2. Бондарев, С. Н. Методика подбора сосковой резины для дойного стада / С. Н. Бондарев, А. В. Китун // Агропанорама. – 2016. – № 6. – С. 39–42.
3. Подскребко М. Д. Сопротивление материалов: учебник / М. Д. Подскребко. – Минск: Высшая школа, 2007. – 797 с.
4. Лизин, В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций / В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 383 с.
5. Бондарев, С. Н. Определение величины вакуума в присоске сосковой резины доильного аппарата / С. Н. Бондарев, А. В. Китун, В. И. Передня // Агропанорама. – 2018. – № 3. – С. 45–48.

УДК 621.43

Поступила в редакцию 11.10.2018  
Received 11.10.2018

**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, А. А. Жешко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: trs9@yandex.ru; azeshko@gmail.com*

### **ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

В статье приводятся результаты выполненных исследований по обоснованию режимов работы дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

*Ключевые слова:* дизельный двигатель, самоходная сельскохозяйственная машина, режим работы, теплонапряженные системы.

**V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, A. A. Zheshko<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»  
Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: trs9@yandex.ru; azeshko@gmail.com*

### **JUSTIFICATION OF THE OPERATION MODES OF THE TRACTORS ENGINE AND SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINES**

Results of the researches on justification of operating modes of the tractors engine and self-propelled farm vehicles are given in article.

*Keywords:* diesel engine, self-propelled farm vehicle, operating mode, heat-stressed systems.

## **Введение**

Снижение удельного расхода топлива на протяжении длительного периода времени является одной из основных задач развития и модернизации автотракторных ДВС. В настоящее время внедрение электронных систем управления подачей топлива позволило осуществлять гибкое изменение цикловой подачи, оптимальное регулирование угла опережения впрыска топлива, обеспечивать заданную внешнюю скоростную характеристику дизеля и др. Однако проводимая высокотехнологичная модернизация топливных систем должна дополняться комплексом компьютерного моделирования как рабочих процессов ДВС, так и режимов их работы с целью обеспечения эффективного функционирования топливной системы в реальных условиях эксплуатации.