DOI 10.28983/asj.y2021i8pp95-99 УДК 631.158:637.116

ДИНАМИКА ПНЕВМОПРИВОДА УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАССАЖА ВЫМЕНИ ЖИВОТНЫХ

КРАСНОВА Александра Юрьевна, *Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»*

Краснов Юрий Иванович, К(Ф)Х «Краснов Ю.И.»

КРАСНОВ Иван Николаевич, *Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»*

МИРОШНИКОВА Валентина Викторовна, *Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»*

В работе даны результаты теоретических разработок по деформации гибких оболочек исполнительных органов средств раздоя, оценке их механического воздействия на вымя нетели и первотелки, динамики пневмопривода исполнительных органов. Обоснованы конструктивно-технологические параметры аппаратов для доения первотелок и массажа вымени нетелей, определены набор и продолжительность технологических операций раздоя животных и экономическая эффективность их внедрения.

Введение. Вмешательство человека в развитие вымени крупного рогатого скота необходимо в тот период, когда идет рост организма животного в целом. Именно на этом этапе у коров, особенно первотелок, формируются продуктивные качества и свойства молокоотдачи, подверженные в наибольшей степени воздействиям технологических мер, особенно касающихся раздоя животных. Важность раздоя в раскрытии генетического потенциала молочной продуктивности первотелок доказана в работах многих российских и зарубежных исследователей [1, 2, 5, 8, 9].

Раздой начинают в основном рациональной подготовкой нетелей к предстоящей лактации, причем основной операцией при этом является массаж вымени [3, 4, 10]. Он начинается за 2–3 месяца до отела и проводится 2–3 раза в день в часы доения дойных коров на ферме. Длительность этой операции постепенно увеличивается с 1–2 до 5–7 мин. Все это позволяет приучить животных к предстоящему процессу машинного доения. Заканчивают массаж вымени нетелей за 15–20 дней до отела, чтобы избежать отечности вымени и раннего процесса молокообразования.

Регулярный массаж возбуждает и усиливает через нервную систему гормональную деятельность гипофиза, активно стимулируя обмен веществ в организме животного. Применение массажа способствует увеличению размеров вымени и сосков, повышает молочную продуктивность первотелок. Основное технологическое назначение раздоя – доведение продуктивности первотелок до максимальной, создание условий, обеспечивающих более полную реализацию генетического потенциала их молочной продуктивности. В настоящее время наибольшее применение для этого нашли устройства пневматического типа, имеющие пневмокамеры с гибкими оболочками.

Методика исследований. Учитывая способ содержания нетелей и первотелок, необходимость их фиксации при раздое и создания безопасных условий для операторов за основу разработок в опытах принята доильная установка УДС-3А [7]. Конструкции массажных устройств были приспособлены применительно к ней. На рис. 1 представлена схема экспериментального устройства для массажа вымени нетели и последующего доения первотелки.

Устройство оборудовано доильными стаканами, используемыми как для доения первотелок, так и для массажа сосков вымени нетелей [6, 8]. В состав такого доильного стакана входят корпус 5, молочная прозрачная чашечка 6 и сосковая рези-

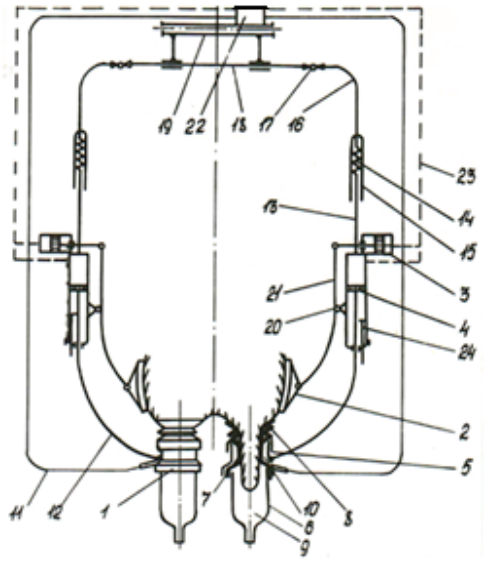

Рис. 1. Схема устройства для раздоя первотелок: 1 – доильный стакан; 2 – массажник; 3, 4 – пневмоцилиндры; 5 – корпус; 6 – молочная чашечка; 7 – сосковая резина; 8 – присосок; 9, 10 – камеры стакана; 11, 23 – шланги; 12 – рычаг; 13, 16 – тяги; 14 – пружина; 15 – трубка; 17, 20 – шарниры; 18 – ось; 19 – кронштейн; 21 – двуплечий рычаг; 22 – пульсатор; 24 – ограничитель

на 7, переходящая в присосок 8 в верхней ее части. Длина сосковой резины составляла не более 2/3 длины соска для сжатия его ближе к основанию – основной рецепторной зоны его. Присосок 8 имел форму усеченного конуса, обращенного меньшим основанием к доильному стакану. Конические стенки присоска были выполнены с образованием нескольких гофр. В надетом на сосок стакане имелось две камеры: подсосковая 9 и межстенная 10.

Массажники вымени 2 выполнены в виде сферических полых воронок, обтянутых эластичными резиновыми оболочками. Они шарнирно соединялись с двуплечими рычагами 21.

Подвеска устройства выполнена П-образной, надеваемой на круп животного. Каждая половина ее содержала телескопические рычаги 13 и 16, связанные между собой пружиной 14, и ось 18. К каркасу доильного станка устройство для раздоя можно было крепить с помощью подвески 19. К рычагам 13 подвески были закреплены пневмоцилиндры 4 привода доильных стаканов в вертикальные колебания, огрничиваемые упором 24.

Привод массажников 2 осуществлялся с помощью пнекмоцилиндров 4, установленных на рачагах 13. Штоки их шарнирно соединялись с двуплечими рычагами 21.

Пульсатор 22 подключен был к вакуумпроводу доильной установки и к дополнительному трубопроводу избыточного давления воздуха от компрессора. Выходы пульсатора шлангами соединялись с пневмоцилиндрами 3 и 4 и межстенными камерами 10 доильных стаканов.

В процессе работы устройства для впуска животных в станок фиксирующая дуга его поднималась, а в кормушку подавался корм. Животное проходило во внутрь образованной подвески так, что доильные стаканы были попарно установлены с обеих сторон его вымени. Далее фиксирующая дуга опускалась, ограничивая подвижность животного, а устройство закреплялось на вымени. При этом оператор каждую половину подвески подводил с боков животного под вымя до соприкосновения массажников 2 с поверхностью вымени и открывал подачу низкого разрежения (20–25 кПа) в подсосковые камеры доильных стаканов, надевая их на соски вымени. После этого он включал подачу воздуха переменного давления к пневмоцилиндрам 3 и 4 и в межстенные камеры доильных стаканов.

В первый момент времени от пульсатора в рабочие полости пневмоцилиндров привода доильных стаканов, привода массажников в межстенные камеры стаканов поступает высокое разряжение. В результате сосковая резина растягивается к стенкам корпуса доильного стакана; стаканы вместе с коллекторами приподнимаются вверх, сжимая гофры; массажники сдавливают вымя с боков, увеличивая давление молока в нем.

В следующий момент времени от пульсатора в систему пневмопривода подается воздух избыточного давления. При этом сосковая резина, имея небольшую длину, пережимает сосок у основания, а движение поршней пневмоцилиндров 4 вниз вызывает посредством рычагов 12 перемещение в ту же сторону доильных стаканов 1. Скольжение сжатой сосковой резины по соску и вакуум в подсосковой камере 9 обеспечивают выжимание молока из цистерны соска, которое далее отсасывается по молочному шлангу. Гофрированные присоски 8 при этом растягиваются, одновременно массажники ослабляют давление на вымя.

Затем от пульсатора вновь поступает высокое разряжение, и процессы работы устройства повторяются с заданной частотой пульсаций.

При массаже вымени нетелей подача переменного давления в цилиндры 4 и вакуума в подсосковые камеры доильных стаканов отключается.

Для повышения интенсивности массажа боковых сторон вымени рычажные устройства агрегата для раздоя животных снабжены резиновыми оболочками, непосредственно контактирующими с выменем, характер воздействия их на поверхность вымени изучен недостаточно.

Решение данной задачи осуществлено нами с позиции нелинейной теории упругости для наиболее распространенных оболочек, выполненных в виде сегмента эллипсоида вращения (рис. 2) с использованием основ газовой динамики и теоретической механики. При этом приняты следующие допущения: материалы оболочки и заполнителя идеально упругие, и после любой деформации оболочка массажника и стенки вымени (упругое основание) возвращаются в исходное положение; процесс деформации оболочки с заполнителем изотермический; объемные силы малы по сравнению с внешними силами и ими можно пренебречь.

Результаты исследований. Первоначально рассмотрим оболочку массажника без учета воздействия вымени на нее. Координаты *x* и *y* условимся задавать вдоль линий кривизны оболочки (см. рис. 2).

В первом приближении выражение для прогиба оболочки на основе предварительных

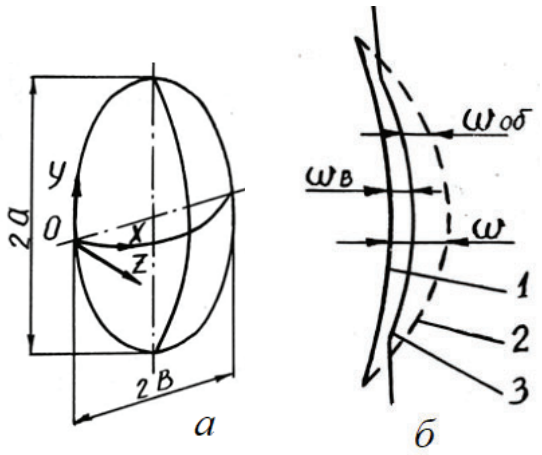

Рис. 2. Схемы оболочки (а) и ее прогибов (б):
1 и 2 – оболочка массажника до и после нагружения;
3 – поверхность вымени после нагружения

экспериментов принимаем в виде следующего аппроксимирующего уравнения

$$\omega = f_1 \sin\frac{\pi m x}{l}\left(1 + g\sin\frac{\pi n y}{L}\right) + f_2 \sin^2\frac{\pi m x}{l},$$

где l и L – длины дуг оболочки соответственно в плоскости xoz и плоскости заделки; m, n – целое число полуволн прогиба оболочки в плоскости xoz и плоскости заделки (в нашем случае $m = 1$, $n = 2$); g – коэффициент степени влияния отношения в/а на распределение прогибов оболочки; f_1, f_2 – неизвестные параметры аппроксимации.

В этом выражении первый член введен исходя из решения задачи об устойчивости в малом. Второй член учитывает особенности деформации оболочки в связи с вытянутой ее формой вдоль большой оси эллипсоида вращения, а третий член отражает несимметричность прогиба относительно срединной поверхности. Решение этого выражения связано с определением полной энергии деформированной оболочки. Далее можно найти и давление оболочки на вымя животного:

$$p_в = c_в \omega_в. \quad (3)$$

С другой стороны, сила реакции со стороны вымени на оболочкау массажника будет:

$$p_{об} = c_{об}\omega_{об}, \quad (4)$$

где $c_{об}$, $\omega_{об}$ – коэффициент объемной жесткости и поперечная деформация оболочки массажника.

Но, как следует из рис. 2, *б*, поперечная деформация оболочки:

$$\omega_{об} = \omega - \omega_в. \quad (5)$$

Тогда для давления оболочки на вымя получим:

$$p_в = \omega \cdot \frac{c_{об} c_в}{c_{об} + c_в}. \quad (6)$$

Представим привод массажника по рис. 1 не пневмоцилиндром 3, а с помощью сильфона 1, как это дано на рис. 3. В этом случае сильфон 1 с приводом от пульсатора 2, сжимаясь и растягиваясь, приводит в движение массажник 3, непосредственно воздействуя на вымя животного.

При этом на рычажную систему привода массажника действуют следующие основные силы: сила тяги сильфона N, сила сопротивления вымени сжатию P, сила веса рычага с чашей в сборе G_1, сила тяги подвижной части сильфона G_2, сила инерции рычага с чашей $P_{и1}$ и сила инерции подвижной части сильфона $P_{и2}$. Тогда момент сил относительно шарнира О будет:

$$Pb + G_1 a_1 - P_{и1}(b_1 + l) - Na - P_{и2}a - G_2 \cdot = 0, \quad (7)$$

где a, a_1, b, b_1, l – плечи приложения сил.

Из этого выражения сила тяги сильфона составит:

$$N = \frac{b}{a}\cdot P + \frac{a_1}{a}\cdot G_1 - \frac{b_1 + l}{a}\cdot P_{и1} - P_{и2} - G_2. \quad (8)$$

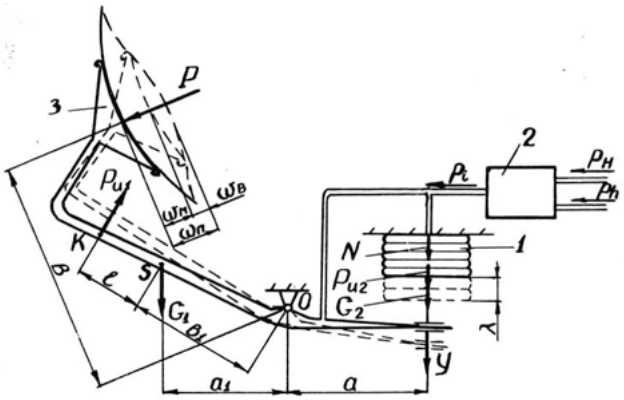

Рис. 3. Схема привода массажника:
1 – сильфон; 2 – пульсатор; 3 – массажник

Под ее действием ход чаши массажника будет равен:

$$\omega_м = \omega_п - \omega_в, \quad (9)$$

где $\omega_п$ – полная деформация вымени; $\omega_в$ – деформация вымени от прогиба оболочки массажника.

Привод межстенных камер доильных стаканов и камер массажников осуществляется с изменением их объема V_i при истечении воздуха из них от V_2 до V_1 (рис. 4), а при наполнении с увеличением от V_2 до V_1. Давление в них периодически меняется в соответствии с обеспечением в этих камерах вакуума h или подачи в них воздуха избыточного давления H. Циклограмма изменения давлений в них представлена на рис. 4. По нему длительность цикла $t_ц$ содержит несколько промежутков времени. На первом происходит истечения $t_{ист}$ воздуха из камеры от избыточного давления H до вакуума h в ней.

На следующем участке $t_в$ при этой величине вакуума h происходит расслабление вымени и сосков от давления воздуха. Далее на отрезке времени $t_{нап}$ включается подача воздуха избыточного давления в камеры массажника и доильных стаканов, происходит наполнение их воздухом до избыточного давления H, при этом начинается сжатие вымени с боков и сосков. Последний же участок $t_р$ заканчивает цикл $t_ц$, и на этом отрезке времени происходит основной процесс сжатия вымени и сосков.

Объем камеры пневмопривода массажника и межстенной камеры доильного стакана при истечении воздуха из нее изменяется в пределах от V_2 до V_1 практически пропорционально отношению давлений p_i/p_H:

$$V_i = V_1 + (V_2 - V_1)\times p_i/p_H, \quad (10)$$

где p_i – текущее абсолютное давление в вакуумпроводе пневмолинии привода массажника, Па; p_H – абсолютное давление в камере 4 при истечении, Па.

По этим причинам процесс истечения воздуха может быть принят изотермическим, и время истечения t описывается уравнением [7]:

$$\frac{V_1 d\left(\frac{p_i}{p_H}\right)}{\frac{p_i}{p_H}} + 2(V_2 - V_1)\cdot\left(\frac{p_i}{p_H}\right) = -\mu\psi f\sqrt{p_H \nu_H}\cdot dt, \quad (11)$$

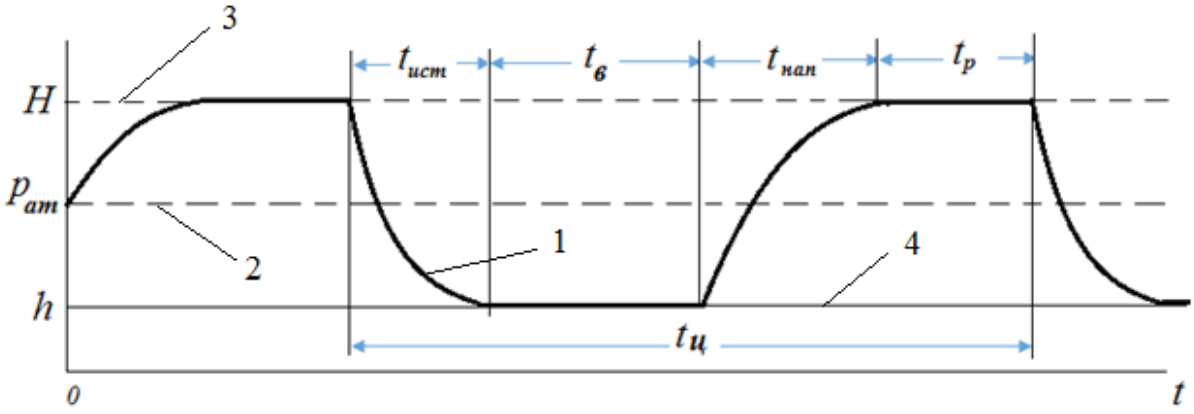

Рис. 4. Циклограмма пневмопривода камер массажника:
1 – кривая изменения давлений в камере массажника; 2, 3 и 4 – уровни атмосферного, избыточного давлений и вакуума в линиях привода массажника

где $p_{ат}$ и $v_{ат}$ – атмосферное давление, Па, и удельный объем воздуха при этом; f – площадь сечения воздуховода 5, по которому происходит истечение воздуха из камеры массажника, м²; μ – коэффициент расхода линии откачки воздуха из нее; ψ – функция расхода воздуха [2]

$$\psi = \sqrt{2\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{p}{p_i}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_i}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}, \qquad (12)$$

где p –абсолютное давление среды, в которую происходит истечение воздуха; k – показатель адиабаты, k = 1,41.

В общем случае процесс истечения воздуха начинается в надкритической области и заканчивается в подкритической. Для времени истечения воздуха из этой камеры в надкритической области ($\psi = \psi_{max}$) после интегрирования выражения (2) получим:

$$t'_{ист} = \frac{V_1 \ln\frac{p_H}{\beta \cdot p} + 2(V_2 - V_1)\left(1 - \frac{\beta p}{p_н}\right)}{\mu\psi_{max} f\sqrt{p_н v_н}}, \qquad (13)$$

где Ψ_{max} – функция расхода в надкритической области; $\frac{p_{кр}}{p} = \beta$ – критическое отношение давлений (для воздуха β = 1,89).

Продолжительность истечения воздуха в подкритической области:

$$t''_{ист} = \frac{V_1}{\mu f\sqrt{p_н v_н}} \cdot \int_{\frac{p}{p_{кр}}}^{1} \frac{d\left(\frac{p}{p_i}\right)\cdot\left(\frac{p}{p_H}\right)}{\psi\left(\frac{p}{p_i}\right)^2} +$$

$$+\frac{2(V_2 - V_1)}{\mu f\sqrt{p_н v_н}} \cdot \int_{\frac{p}{p_{кр}}}^{1} \frac{d\frac{p}{p_i}}{\psi\left(\frac{p}{p_i}\right)^2}. \qquad (14)$$

Для привода доильных аппаратов обозначим, как и в работе Краснова И.Н., первое интегральное выражение в формуле (14) символом Z, а второе символом N (табличные значения их приведены в указанной работе). Максимальные значения их соответствуют завершению истечения воздуха и при $p/p_{кр}$ = 0,528 равны соответственно: Z_{max} и N_{max}. Тогда общая длительность истечения воздуха из камеры 4 при расслаблении вымени будет:

$$t_{ист} = \frac{V_1 \ln\frac{p_H}{\beta p} + 2(V_2 - V_1)\left(1 - \frac{\beta p}{p_н}\right)}{\mu\psi_{max} f\sqrt{p_н v_н}} +$$

$$+\frac{Z_{max} V_1}{\mu f\sqrt{p_н V_н}} + \frac{2(V_2 - V_1)\cdot N_{max}}{\mu f\sqrt{p_н v_н}}. \qquad (15)$$

В процессе наполнения воздухом камер массажника осуществляется массирующее давление на боковые стороны вымени и соски. Объем камеры изменяется теперь от минимального V_1 до максимального V_2, а длительность наполнения ее описывается известным дифференциальным уравнением:

$$\frac{p_н}{p_i} d\left(\frac{p_i}{p_н}\right) = \frac{\mu\psi f}{V_1}\sqrt{p_н v_н}\cdot\left(\frac{p_i}{p_н}\right)^{-1} dt - \frac{dV_i}{V_i}. \qquad (16)$$

Поэтому в надкритической области течения газа длительность наполнения камеры массажника может быть определена по формуле:

$$t'_{нап} = \frac{V_1\left(0{,}528 - \frac{p}{p_н}\right) + (V_2 - V_1)\left[0{,}528^2 - \left(\frac{p}{p_н}\right)^2\right]}{\mu\psi_{max} f\sqrt{p_н v_н}}, \qquad (17)$$

а в подкритической области наполнения:

$$t''_{нап} = \frac{V_1}{\mu f\sqrt{p_н v_н}} \cdot \int_{0{,}528}^{1} \frac{d\left(\frac{p_i}{p_н}\right)}{\psi} +$$

$$+\frac{2(V_2 - V_1)}{\mu f\sqrt{p_н v_н}} \cdot \int_{0{,}528}^{1} \frac{d\sqrt{\left(\frac{p_i}{p_н}\right)}\cdot\frac{p_i}{p_н}}{\psi}. \qquad (18)$$

В этом выражении первый интеграл обозначим символом I_{max}, а второй K_{max} при $\psi_{max} = 0{,}528$, тогда полная длительность процесса наполнения воздухом камеры 4 будет:

$$t_{нап} = t'_{нап} + \frac{V_1 I_{max}}{\mu f \sqrt{p_Н \nu_Н}} + \frac{2(V_2 - V_1)K_{max}}{\mu f \sqrt{p_Н \nu_Н}}. \quad (19)$$

Анализ выражений (15) и (19) показывает тесную связь времени переходных процессов в приводе исполнительных органов устройств для массажа вымени животных не только с объемом их камер, но и с величинами вакуума и давления воздуха, а также параметрами линии пнгевмопривода.

Заключение. Полученные выражения могут быть положены в основу расчета усовершенствованного устройства для активного массажа вымени как нетелей перед отелом, так и первотелок в процессе их доения. Они показывают значительную зависимость эффективности массажа от параметров линии пневмопривода полых массажных камер и доильных стаканов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борозенцев В.И.* Обоснование и разработка доильного аппарата выжимающего принципа действия // Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке: материалы Нац. науч.-практ. конф. – Майский, 2021. – С. 121–127.

2. *Бурков А.В.* Удой коров в зависимости от технологии производства // Современная аграрная наука: проблемы и пути решения: сб. тезисов круглого стола в формате online. – 2020. – С. 113–114.

3. *Краснов И.Н., Краснова А.Ю., Макаренко А.С.* Влияние машинного доения коров на секрецию молока у коров // Научная жизнь – научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 208–214.

4. *Краснова А.Ю., Мирошникова В.В.* Роль массажа вымени в раздое первотелок // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – № 1(49). – С. 20–26.

5. Обоснование конструктивно-режимных параметров пульсатора адаптивного доильного аппарата / В.Ф. Ужик [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6(56). – С. 88–90.

6. Пат. 2631087 Российская Федерация, МПК A01J 5/00. Доильный стакан / И.Н. Краснов, В.П. Сквورцов, С.Н. Бабенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 2016145723; заявл. 22.11. 2016; опубл. 18.09.2017. Бюл. № 26.

7. Производство молока на ферме модульного типа с экологически чистой технологией / И.Н. Краснов [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2012. – № 2. – С. 45–50.

8. *Ужик В.Ф., Клесов Д.Н.* Адаптивный доильный аппарат с механическим пульсатором // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – № 3(19). – С. 81–85.

9. *Baragunov A.B., Savvateeva I.A., Kushaev S.H., Kumakhov A.A., Kudaev Z.R.* Innovative livestock production technology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32012.

10. *Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroschnikova V.V.* Milking Incentives Role In Secretion Of Cows Milk // International Journal of Advanced Biotechnology and Research, India, Vol. 8, Iss. 4, 2017. p.957-963.

Краснова Александра Юрьевна, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис в АПК», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет». Россия.*

347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21.

Тел.: (86359) 43-3-80.

Краснов Юрий Иванович, *канд. техн. наук, К(Ф)Х «Краснов Ю.И.». Россия.*

Ростовская область, г. Зерноград.

Тел.: 89081995505.

Краснов Иван Николаевич, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии исредства механизации АПК», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Россия.*

Мирошникова Валентина Викторовна, *канд. техн. наук, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет». Россия.*

347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21.

Тел.: (86359) 43-3-80.

Ключевые слова: *нетели; первотелки; раздой; массажные устройства; пневмопривод массажников.*

DYNAMICS OF PNEUMATIC DRIVE OF DEVICES FOR UDDER MASSAGE OF ANIMALS

Krasnova Alexandra Yuryevna, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technical Service in Agriculture", Azov-Black Sea Engineering Institute-branch of the Don State Agrarian University in Zernograd. Russia.*

Krasnov Yuri Ivanovich, *Candidate of Technical Sciences, K(F)X "Krasnov Yu.I.", Russia.*

Krasnov Ivan Nikolaevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Technologies and Means of Mechanization of the Agro-Industrial Complex", Azov-Black Sea Engineering Institute-branch of the Don State Agrarian University in Zernograd. Russia.*

Miroshnikova Valentina Viktorovna, *Candidate of Technical Sciences, Azov-Black Sea Engineering Institute-branch of the Don State Agrarian University in Zernograd. Russia.*

Keywords: *heifers; first-calf heifers; beef; massage devices; pneumatic drive of massagers.*

The paper presents the results of theoretical developments on the deformation of flexible shells of the executive bodies of the means of stripping, the assessment of their mechanical impact on the udder of the heifer and first-calf, the dynamics of the pneumatic drive of the executive bodies. The design and technological parameters of the devices for milking first-calf heifers and massaging the udder of heifers are justified, the set and duration of technological operations for animal milking and the economic efficiency of their implementation are determined.