

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА МАГНИТНОГО КЛАПАНА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

**Евгений Александрович Андрианов
Владимир Павлович Шацкий
Алексей Александрович Андрианов
Татьяна Николаевна Тертычная**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В условиях заметного снижения доли промышленного животноводства и существенного увеличения производства молока фермерскими и личными подсобными хозяйствами важная роль отводится машинному доению коров. Однако если в доильных залах крупных молочных комплексов доильные установки комплектуются элементами автоматики, реагирующими на уровень молокоотдачи в процессе выведения молока, то серийно производимые переносные доильные аппараты не обладают полным спектром параметров режима доения, позволяющих осуществлять адекватное воздействие на молочную железу при выполнении различных технологических операций. Одним из резервов повышения адаптивности и функциональности доения коров в условиях малых ферм является создание многофункционального доильного оборудования, позволяющего управлять режимом доения в соответствии с физиологическим состоянием лактирующих животных. Целью исследований является обоснование параметров переключающего устройства магнитного клапана блока регулирования уровня вакуумметрического давления в разработанном авторами многофункциональном стимулирующем доильном аппарате. Приведена расчетная схема к выводу уравнения, определяющего диаметр мембраны, и получена расчетная зависимость для определения основных параметров переключающего устройства магнитного клапана. Для подтверждения теоретических положений по определению параметров переключающего устройства магнитного клапана проведен однофакторный эксперимент. В качестве критерия оптимизации выбрана масса грузового элемента устройства. С целью получения уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующего опытные данные, использована компьютерная программа «Excel». В результате обработки опытных данных получено уравнение регрессии, позволяющее определить диаметр мембраны переключающего устройства. В результате анализа полученной графической зависимости установлены рациональные геометрические параметры переключающего устройства магнитного клапана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доильный аппарат, конструктивные параметры, переключающее устройство магнитного клапана, режим доения, блок регулирования уровня вакуумметрического давления.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE SWITCHING DEVICE OF THE MAGNETIC VALVE OF MULTIFUNCTION MILKING MACHINE UNIT

**Evgeniy A. Andrianov
Vladimir P. Shatsky
Aleksey A. Andrianov
Tatiana N. Tertychnaya**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

In the context of a significant decrease in the share of industrial husbandry in total dairy production output and a significant increase in milk production by farmers and subsidiary individual holdings, an important role is assigned to cows' machine milking. However, if in the milking parlors of large dairy complexes milking machines are equipped with automation devices responding to the level of milk in the process of milk removal, serial produced portable milking machines do not fulfill a full range of parameters of the milking mode, allowing an adequate impact on the mammary gland in the performance of various technological operations. One of the reserves of increasing the

adaptability and functionality of cows' milking in the conditions of small farms is the creation of multifunctional milking equipment that allows controlling the process of milking in accordance with the physiological status of lactating animals. The purpose of the research was to substantiate the parameters of the switching device of the magnetic valve of the vacuum pressure level control unit of the multifunctional stimulating milking machine developed by the authors. For the derivation of equation determining the diameter of the membrane, the authors presented design model and estimated dependence for determining the main parameters of the switching device of the magnetic valve. To confirm the theoretical provisions for determining the parameters of the switching device of the magnetic valve, the authors conducted single-factor experiment for which the weight of the load element of the device was chosen as the optimization criterion. For the derivation of the regression equation adequately approximating experimental findings, Excel computer program was used. As a result of the experimental data processing, the regression equation was obtained and the diameter of the membrane of the switching device was determined. As follows from the analysis of the obtained graphic dependence, the rational geometric parameters of the switching device of the magnetic valve were laid down.

KEYWORDS: milking machine, design parameters, magnetic switching valve, mode of milking, control unit, level of vacuum pressure.

Введение

В условиях заметного снижения доли промышленного животноводства и существенного увеличения производства молока фермерскими и личными подсобными хозяйствами важная роль отводится машинному доению коров. Однако если в доильных залах крупных молочных комплексов доильные установки комплектуются элементами автоматизации, реагирующими на уровень молокоотдачи в процессе выведения молока, то серийно производимые переносные доильные аппараты не обладают полным спектром варьирующих параметров режима доения, позволяющим осуществлять адекватное воздействие на молочную железу при выполнении различных технологических операций доения коров [3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 16].

Одним из резервов повышения адаптивности и функциональности доения коров в условиях малых хозяйственных образований является создание многофункционального доильного оборудования, позволяющего управлять режимом доения в соответствии с физиологическим состоянием лактирующего животного [3, 4, 14, 16].

В ходе ранее проведенных исследований авторами разработана конструктивно-технологическая схема многофункционального доильного аппарата [1, 8], обоснованы конструктивные параметры блока управления режимом доения [2] и режимные параметры предложенного доильного аппарата [7].

В представленной статье авторы обосновывают параметры переключающего устройства магнитного клапана блока регулирования уровня вакуумметрического давления.

Методика исследований

Объект исследований – рабочий процесс переключения магнитного клапана многофункционального доильного аппарата.

Предмет исследования – закономерности изменения технологических показателей многофункционального доильного аппарата в зависимости от параметров переключающего устройства магнитного клапана блока регулирования уровня вакуумметрического давления.

При рассмотрении теории процесса переключения магнитного клапана в блоке регулирования уровня вакуумметрического давления использовались методы моделирования рабочих процессов на основе дифференциального и интегрального исчисления и последующих математических вычислений. Использована теория пластин и оболочек, изложенная в работе Л.М. Савельева [9].

С целью подтверждения теоретических положений по определению параметров переключающего устройства магнитного клапана проведен однофакторный эксперимент. Для определения массы грузового элемента была разработана лабораторная установка, представленная на рисунке 1.

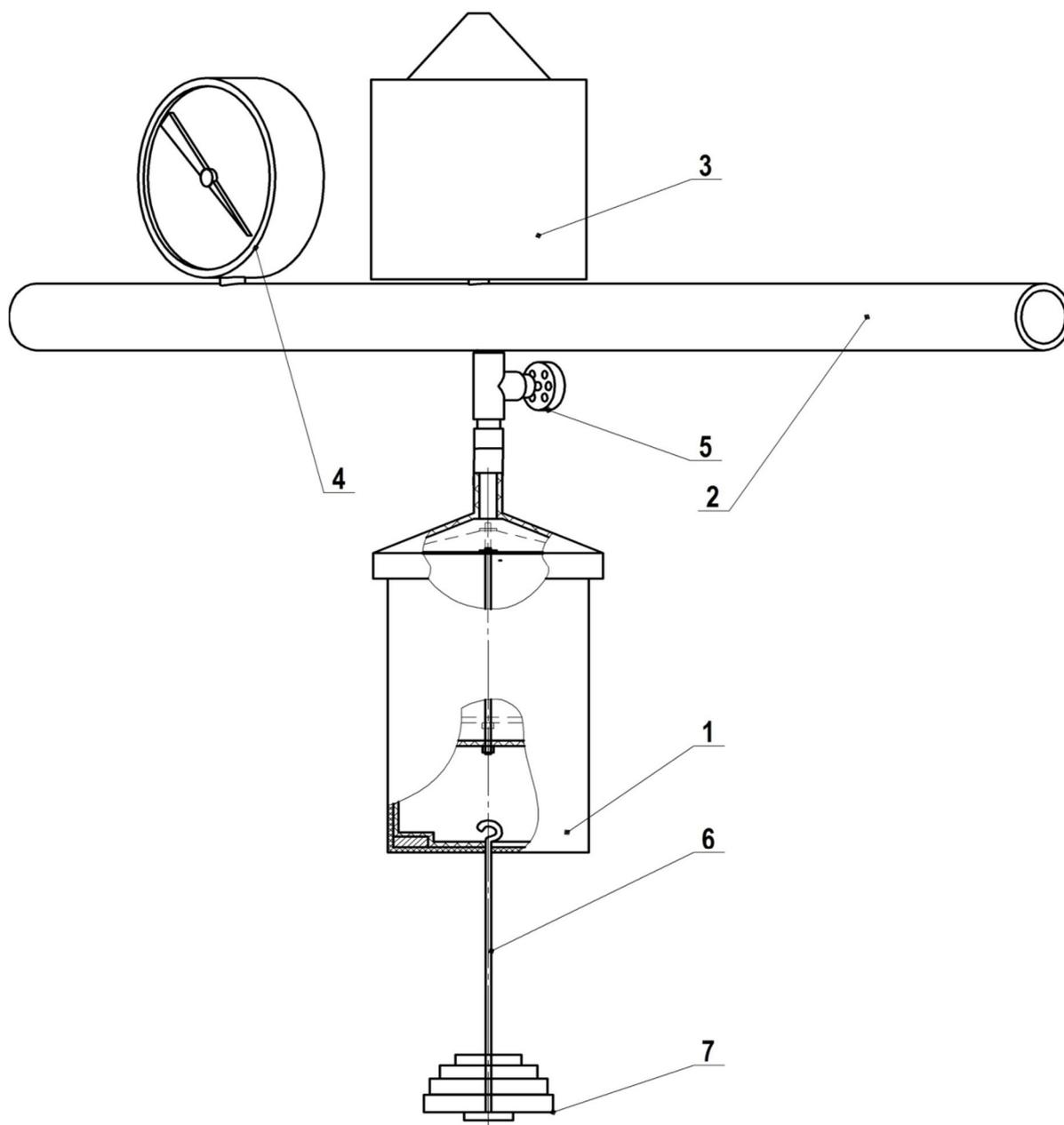


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения конструктивных параметров переключающего устройства магнитного клапана блока регулирования уровня вакуумметрического давления: 1 – переключающее устройство магнитного клапана; 2 – вакуумпровод; 3 – регулятор уровня вакуумметрического давления; 4 – вакуумметр; 5 – кран; 6 – шарнирное устройство для размещения сменных грузов; 7 – сменные грузы различной массы

Для получения характерной зависимости массы грузового элемента от диаметра мембраны переключающее устройство магнитного клапана соединяли с вакуумпроводом через вакуумный кран. К втулке клапана подвешивали шарнирное устройство для размещения сменных грузов. Варьируя массу груза, устанавливали мембрану в исходное положение. Далее взвешиванием определяли массу грузового элемента переключающего устройства. Опыты проводились с трехкратной повторностью. Уровни варьирования диаметра мембраны переключающего устройства магнитного клапана устанавливали исходя из конструктивных соображений. Границами области исследования были нижний и верхний уровни изменения фактора, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни варьирования диаметра мембраны переключающего устройства магнитного клапана

Наименование фактора	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
d_m – диаметр мембраны, м	0,01	0,03	0,04	0,05

Для получения уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующего опытные данные, использована компьютерная программа «Excel» [10].

Результаты и их обсуждение

Блок регулирования уровня вакуумметрического давления включает регулятор вакуумметрического давления доильного аппарата и переключающее устройство магнитного клапана (рис. 2).

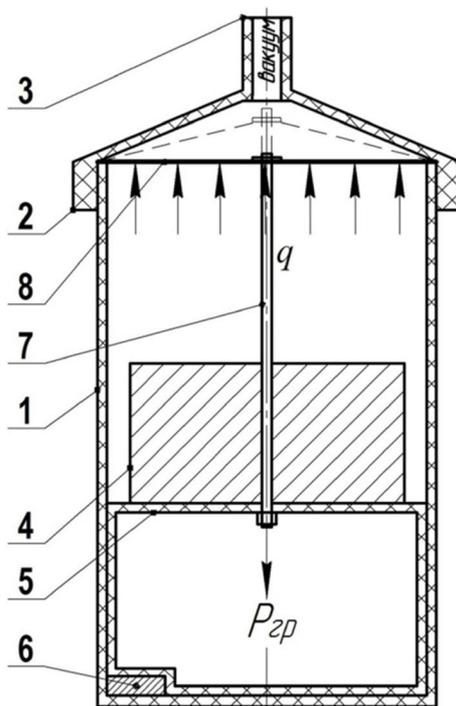


Рис. 2. Переключающее устройство магнитного клапана:
1 – корпус устройства; 2 – крышка; 3 – патрубок; 4 – грузовой элемент; 5 – втулка; 6 – магнит; 7 – шток; 8 – мембрана

Переключающее устройство содержит корпус 1, имеющий в верхней части крышку 2 с патрубком 3, герметично прижимающую мембрану 8, которая посредством штока 7 шарнирно связана с втулкой 5. В нижней части втулки 5 установлен магнит 6, взаимодействующий с магнитным клапаном, а в верхней части – грузовой элемент 4. Подачей через патрубок 3 в камеру переменного давления, образуемую в надмембранной области между крышкой 2 и мембраной 8, вакуумметрического или атмосферного давления осуществляется переключение магнитного клапана и изменение вакуумного режима доильного аппарата.

При подаче вакуума в камеру переменного давления и воздействии симметрично распределенной нагрузки на поверхность мембраны втулка с магнитом перемещается вверх, занимая крайнее верхнее положение, магнитный клапан регулятора вакуумметрического давления за счет собственного веса переключается в нижнее положение, а в

межстенных и подсосковых камерах доильных стаканов устанавливается высокий уровень вакуума.

При подаче воздуха в надмембранную область давление над и под мембраной выравнивается, втулка с магнитом под действием веса грузового элемента перемещается вниз, занимая крайнее нижнее положение, магнитный клапан регулятора вакуумметрического давления за счет силы притяжения между магнитами переключается в верхнее положение, а в межстенных и подсосковых камерах доильных стаканов устанавливается низкий уровень вакуума. При этом остаточный уровень вакуума, возникающий при работе вибропульсатора, не должен приподнимать втулку с магнитом, чтобы стабильно устанавливался низкий уровень вакуума в системе.

В связи с вышеизложенным целью исследований является определение диаметра мембраны и веса грузового элемента переключающего устройства, при которых обеспечивается стабильное удержание втулки с магнитом в верхнем и нижнем положении при подаче соответственно вакуумметрического и атмосферного давления. Вес грузового элемента и диаметр мембраны будем определять в системе «мембрана – груз», на которую с одной стороны действуют сила P_{cp} , сосредоточенная в центре, а с другой – распределенная нагрузка q , направленная в противоположную сторону (рис. 2).

Для расчета диаметра мембраны при воздействии симметрично распределенной нагрузки по ее поверхности относительно центра [$w = w(r)$] используем полярный радиус r и полярный угол ϕ в соответствии с известными соотношениями: $x = r \cos\phi$ и $y = r \sin\phi$ [9] и получим

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^2 w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^2} \frac{dw}{dr} = \frac{q}{D}, \quad (1)$$

где w – прогиб мембраны, м;

q – распределенная нагрузка, Па;

D – изгибная жесткость мембраны, Н·м.

Изгибная жесткость мембраны определяется по формуле

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости резины, Па;

μ – коэффициент Пуассона;

h – толщина резины, м.

Общий интеграл уравнения (1) выражается зависимостью

$$w = C_1 \ln r + C_2 r^2 \ln r + C_3 r^2 + C_4 + w^*. \quad (3)$$

Первые четыре слагаемых в правой части выражения (3) являются общим решением уравнения (1), а пятое слагаемое w^* – частное решение, которое определяется при $q = const$ по следующей формуле:

$$w^* = \frac{qr^4}{64D}. \quad (4)$$

Из условия конечности прогиба и кривизны в центре мембраны постоянные интегрирования C_1 и C_2 равны нулю ($C_1 = C_2 = 0$). Постоянные интегрирования C_3 и C_4 определим при $r = R$. Тогда для заделанного края

$$\begin{aligned} (w)_{r=R} = 0; \quad \left(\frac{dw}{dr}\right)_{r=R} = 0; \quad w = C_3 r^2 + C_4 + \frac{qr^4}{64D}; \\ C_3 = -\frac{2qR^2}{64D}; \quad C_4 = \frac{qR^4}{64D}; \quad w(r) = \frac{q(r^2 - R^2)^2}{64D}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для расчета мембраны при воздействии сосредоточенной в центре силы заданым условием, что мембрана радиусом R жестко заделана по контуру и нагружена в центре сосредоточенной силой P_{zp} . При отсутствии распределенной нагрузки частное решение определяется при $w^* = 0$, а прогиб мембраны – по формуле (6) [9, 15]

$$w(r) = \frac{P_{zp} R^2}{16 \pi D} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} + 2 \frac{r^2}{R^2} \ln \frac{r}{R} \right). \quad (6)$$

При $r = 0$ по формулам (7) и (8) определяем прогиб мембраны

$$w_1(q, R) = \frac{qR^4}{64D}; \quad (7)$$

$$w_2(p, R) = \frac{P_{zp} R^2}{16 \pi D}. \quad (8)$$

Для того чтобы сила действия вакуумметрического давления на мембрану поднимала втулку с магнитом, необходимо, чтобы соблюдалось следующее условие:

$$w_1(q, R) > w_2(p, R), \quad (9)$$

то есть

$$q > \frac{64P_{zp}}{R^2 16 \pi}. \quad (10)$$

Так как $P_{вак} = q$, выражение (10) принимает вид

$$P_{вак} > \frac{4P_{zp}}{\pi R^2}, \quad (11)$$

где $P_{вак}$ – вакуумметрическое давление, Па;

P_{zp} – вес грузового элемента, Н;

R – радиус мембраны, м.

Используя функциональную зависимость (11), можно определить конструктивные параметры переключающего устройства магнитного клапана.

Результаты проведенного однофакторного эксперимента по определению массы груза переключающего устройства магнитного клапана представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты опытов по определению массы грузового элемента переключающего устройства

Диаметр мембраны d_m , м	Масса грузового элемента m_{zp} , кг			
	1-я повторность	2-я повторность	3-я повторность	Среднее значение
0,03	0,82	0,78	0,8	0,80
0,04	1,46	1,44	1,46	1,45
0,05	2,21	2,18	2,21	2,20

При аппроксимации опытных данных в программе Microsoft Excel получено уравнение регрессии, адекватно ($R^2 = 0,99$) описывающее зависимость массы грузового элемента от диаметра мембраны [15]

$$m_{zp} = 70d_m - 1,3167, \quad (12)$$

где d_m – диаметр мембраны, м;

m_{zp} – масса грузового элемента, кг.

На рисунке 3 представлены сравнительные зависимости (теоретическая и экспериментальная) массы груза от диаметра мембраны переключающего устройства магнитного клапана.

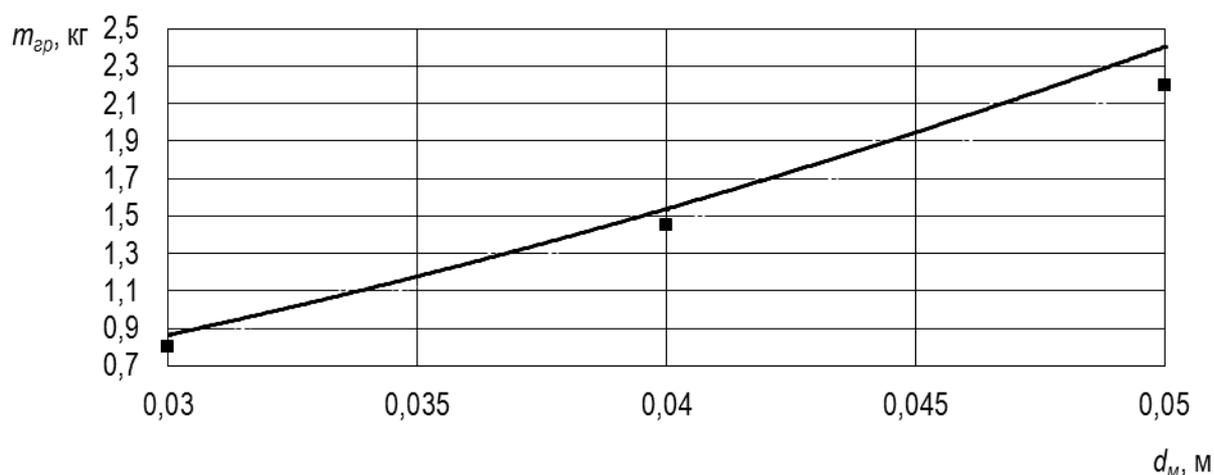


Рис. 3. Сравнительные графические зависимости массы груза от диаметра мембраны переключающего устройства магнитного клапана:

■ – экспериментальная зависимость; — – теоретическая зависимость

Анализ графических зависимостей показал верность разработанных теоретических положений, так как ошибка сходимости результатов исследований не превышает 10%.

Рациональные численные значения параметров переключающего устройства магнитного клапана получены исходя из следующих условий:

- для надежного удержания втулки с магнитом в верхнем положении вес грузового элемента должен быть в 2–2,5 раза меньше силы распределенной нагрузки от действия вакуумметрического давления;
- для обеспечения инерционности системы при фиксации втулки с магнитом в нижнем положении вес грузового элемента должен быть максимально возможным с учетом первого условия.

Выводы

Установлены следующие конструктивные параметры переключающего устройства:

- диаметр мембраны – $d_m = 0,04$ м;
- масса грузового элемента – $m_{гр} = 0,55$ кг.

Экспериментально установленные параметры позволяют осуществлять надежную фиксацию магнитного клапана в верхнем и нижнем положении.

Библиографический список

1. Аппроксимация кривой молокоотдачи / В.П. Шацкий, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, С.А. Бородин // Сельский механизатор. – 2017. – № 11. – С. 24–25.
2. Бородин С.А. Обоснование параметров блока управления режимом доения / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов // Сельский механизатор. – 2018. – № 9. – С. 30–31.
3. Кирсанов В.В. Метод создания многофункциональной элементной базы доильного оборудования / В.В. Кирсанов // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 9. – С. 16–18.
4. Кирсанов В.В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В.В. Кирсанов, К.С. Шукин, В.Н. Легеза // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 1. – С. 65–67.
5. Краснов И.Н. Доильные аппараты / И.Н. Краснов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1974. – 227 с.
6. Краснов И.Н. Новые принципы доения коров / И.Н. Краснов, Г.М. Марченко, В.Н. Скворцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 5. – С. 40–42.
7. Обоснование режимных параметров многофункционального стимулирующего доильного аппарата / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, Т.Н. Тертычная // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 4. – С. 18–23.

8. Пат. 172455 Российская Федерация (на полезную модель), МПК А01J 5/00 (2006.01). Доильный аппарат / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, С.А. Бородин ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – № 2016147854 ; заявл. 06.12.2016 ; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 3. – 6 с.
9. Савельев Л.М. Теория пластин и оболочек : конспект лекций. Направление 151600.68 Прикладная механика. Магистерская программа «Прочность конструкций летательных аппаратов» / Л.М. Савельев. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева, 2013. – 45 с.
10. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии : учебник / под ред. А.И. Завражнова. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 496 с.
11. Ужик В.Ф. К изменению соотношения тактов пульсатора доильного аппарата / В.Ф. Ужик, А.И. Тетерядченко, О.В. Ужик // Научная жизнь. – 2016. – № 12. – С. 15–25.
12. Ужик В.Ф. Обоснование конструктивно-режимных параметров гидравлического контура гидро-стабилизированного пульсатора адаптивного доильного аппарата / В.Ф. Ужик, А.И. Тетерядченко, О.В. Китаёва // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – Вып. 2 (53). – С. 112–120.
13. Ужик О.В. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров переносного адаптивного манипулятора доения коров с автономным источником питания : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / О.В. Ужик. – Белгород, 2007. – 174 с.
14. Ульянов В.М. Совершенствование технологии машинного доения коров путем разработки сти-мулирующе-адаптированных доильных аппаратов и манипуляторов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / В.М. Ульянов. – Рязань, 2008. – 300 с.
15. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли ; пер. с англ. А.С. Каменского ; под ред. Ф.И. Ерешко ; предисл. Ф.И. Ерешко и А.С. Каменского. – Москва : Агро-промиздат, 1987. – 400 с.
16. Экспериментальные исследования доильного аппарата с верхним отводом молока из коллек-тора в лабораторных условиях / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, Н.С. Панферов, А.В. Набатчиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 3 (31). – С. 65–70.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Евгений Александрович Андрианов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: evgeniy377@gmail.com.

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Алексей Александрович Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: alexey739@gmail.com.

Татьяна Николаевна Тертычная – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 02.02.2019

Дата принятия к печати 18.02.2019

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Evgeniy A. Andrianov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: evgeniy377@gmail.com.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Aleksey A. Andrianov, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: alexey739@gmail.com.

Tatiana N. Tertychnaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Storage and Processing of Agricultural Products Technologies, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Received February 02, 2019

Accepted February 18, 2019