

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ДОЕНИЯ

Сергей Алексеевич Бородин
Евгений Александрович Андрианов
Владимир Павлович Шацкий
Алексей Александрович Андрианов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Одним из направлений повышения эффективности машинного доения и снижения заболеваемости коров маститом является разработка доильных аппаратов с управляемым режимом доения, которые в процессе всего периода молокоотдачи производят воздействия на соски вымени, адекватные физиологическим процессам. В связи с тем что за период машинного доения из альвеол вымени извлекается молока меньше, чем возможно, для полной реализации генетического потенциала дойных коров в течение доения доильный аппарат своим стимулирующим воздействием должен поддерживать рефлекс молокоотдачи. Процесс выведения молока из вымени коровы сложен и до сих пор полностью не изучен. Авторами разработана конструктивно-технологическая схема доильного аппарата, позволяющая в начале и в конце доения осуществлять стимулирующие воздействия на соски вымени, с целью приближения процесса машинного доения к физиологическому процессу выделения молока, имеющему место при сосании теленка. Целью исследований является обоснование конструктивно-режимных параметров устройства управления режимом доения аппарата. Объект исследований – рабочий процесс стимулирующего доильного аппарата с регулируемым режимом доения. Процесс выведения молока из вымени коровы и наполнения молоколовушки молоком моделировался с использованием обыкновенных дифференциальных уравнений и последующих математических вычислений. Получена математическая модель процесса выведения молока из вымени коровы. Рассмотрен процесс наполнения молоколовушки в начальный период доения. Установлена аналитическая зависимость, позволяющая определить время достижения максимального уровня молока в молоколовушке при заданных геометрических параметрах устройства управления и интенсивности молоковыведения. Рассмотрены силы, действующие на устройство управления режимом доения. Установлена аналитическая зависимость, позволяющая определить вес груза, необходимый для отключения стимулирующего режима доения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: машинное доение, доильный аппарат, конструктивные параметры, устройство управления, молоколовушка, режим доения.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF MILKING MODE CONTROL DEVICE

Sergey A. Borodin
Evgeniy A. Andrianov
Vladimir P. Shatsky
Aleksey A. Andrianov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

One of the trends of mechanical milking efficiency enhancement and reducing cow mastitis morbidity is the development of milking machines with controlled milking mode, which during the whole period of milk ejection create long-term effect on udder teats that is adequate to physiological processes. Due to the fact that during machine milking milk flow rate is lower than it is possible, and aiming at complete realization of dairy cows genetic potential, a milking machine, through its stimulating impact, should maintain sufficient milk ejection reflex in cows. Milk ejection out of cow's udder is a complex process that does not lend itself to rigorous analytical treatment. The authors developed constructive-technological design of milking machine that at the beginning and at the end of

milking produces stimulating impact on udder teats in order to evoke proper milk ejection reflex as is usually in case of calf suckling. The objective of research was to substantiate constructive operating parameters of milking machines with controlled milking mode. Subject of research was the operation process of stimulating milking machine with controlled milking mode. The authors simulated the process of milk ejection out of cow's udder and filling milk collecting tank through the use of ordinary differential equations and subsequent mathematical calculations; developed mathematical model of milk ejection out of cow's udder; considered the process of filling milk collecting tank at the initial milking period; derived analytical dependency for determining the time of achieving maximum milk level in milk collecting tank upon the given geometrical parameters of milking mode control device and intensity of milk ejection; analyzed forces effecting milking mode control device; derived analytical dependency for calculating the weight of the load necessary for switching off stimulating milking mode.

KEY WORDS: mechanical milking, milking machine, constructive parameters, control device, milk collecting tank, milking mode.

B ведение

Одним из направлений повышения эффективности машинного доения и снижения заболеваемости коров маститом является разработка доильных аппаратов с управляемым режимом доения, которые в процессе всего периода молоковыведения производят воздействия на соски вымени, адекватные физиологии животного [4, 6, 7]. Поэтому обычно процесс выведения молока из вымени коров разделяют на отдельные стадии (рис. 1) по интенсивности молокоотдачи:

- период нарастания молокоотдачи (фаза А);
- период доения, когда массовый выход молока из вымени сохраняется на максимальном уровне (фаза Б);
- период снижения молоковыведения (фаза В).

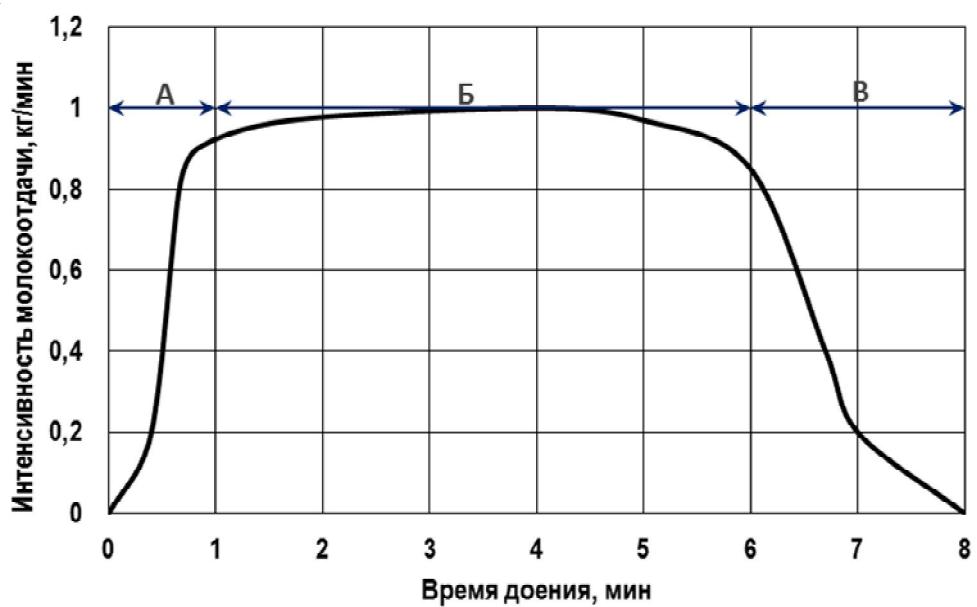


Рис. 1. Отдельные стадии процесса выведения молока из вымени

В связи с тем что за период машинного доения из альвеол вымени извлекается молока меньше, чем биологически возможно, для полной реализации генетического потенциала дойных коров в течение доения доильный аппарат своим стимулирующим воздействием должен поддерживать рефлекс молокоотдачи. Авторами разработана конструктивно-технологическая схема доильного аппарата, позволяющая в начале и в конце доения осуществлять стимулирующие воздействия на соски вымени, с целью приближения процесса машинного доения к физиологическому процессу выделения молока, имеющему место при сосании теленка [2].

Целью исследований является обоснование конструктивно-режимных параметров устройства управления режимом доения аппарата.

Методика исследований

При рассмотрении процессов выведения молока из вымени коровы и наполнения молоколовушки молоком использовались методы классической механики и гидравлики, математическое моделирование процесса осуществлялось с применением дифференциальных уравнений и последующих математических вычислений [2]. При изучении данного вопроса за основу взяты работы известных ученых [1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12].

Результаты и их обсуждение

Ранее проведенными теоретическими исследованиями установлено, что в начальный период доения [0:T/2] удельная интенсивность молоковыведения достаточно хорошо описывается функцией

$$Q_l(t) = \frac{\arctg(A(t-B)) + \arctg(AB)}{\frac{\pi}{2} + \arctg(AB)}, \quad (1)$$

где A и B – параметры, определяющие скорость нарастания молоковыведения и зависящие от индивидуальных качеств животного;

t – продолжительность доения, с, $t \leq T/2$.

График функции (1) при $A = 0,175$ и $B = 20$ представлен на рисунке 2.

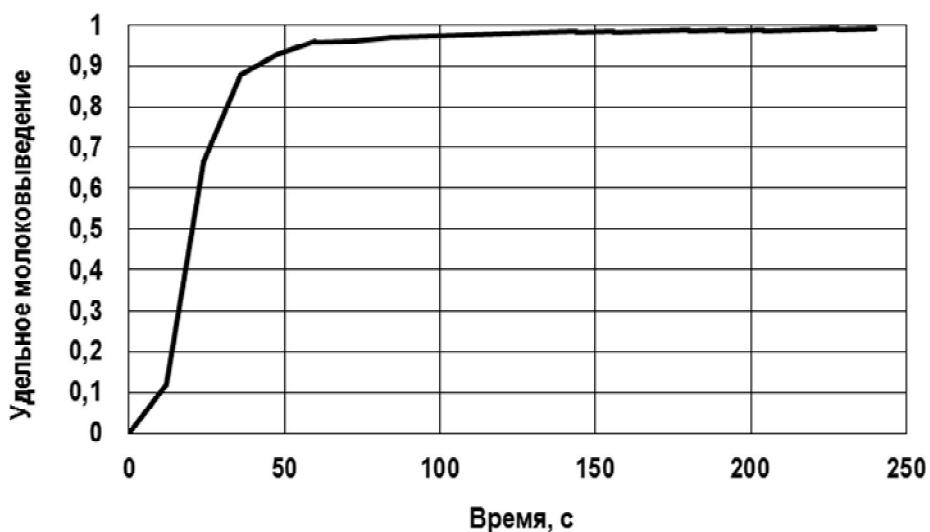


Рис. 2. Удельное молоковыведение в начальный период доения

Если задать максимальную интенсивность молоковыведения некоторой величиной m_{max} , то зависимость интенсивности молоковыведения ($\text{м}^3/\text{с}$) от времени определяется следующей функцией:

$$Q(t) = m_{max} \cdot Q_l(t) / \rho / 60, \quad (2)$$

где ρ – плотность молока, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рассмотрим теперь процесс наполнения молоколовушки (рис. 3) в начальный период доения.

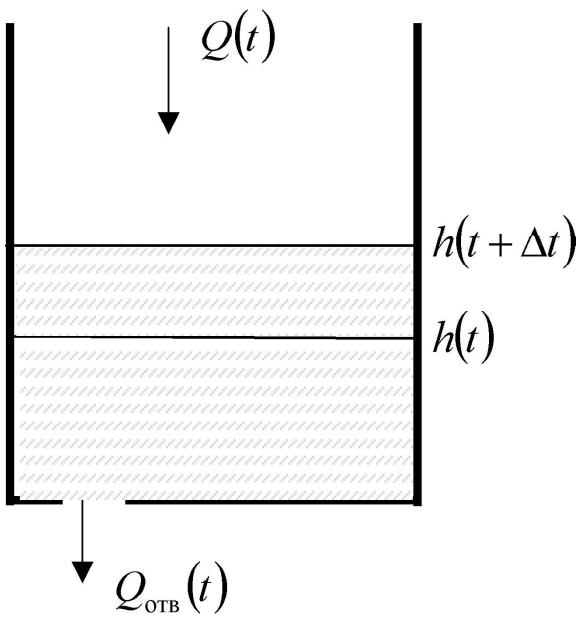


Рис. 3. К выводу уравнения, определяющего уровень молока в молоколовушке

За некоторый промежуток времени Δt объем молока (м^3) в молоколовушке увеличится на величину

$$S_k h(t + \Delta t) - S_k h(t), \quad (3)$$

где S_k – площадь сечения ковша, м^2 .

Это происходит за счет пополнения молоколовушки молоком в количестве (м^3)

$$\frac{Q(t + \Delta t) + Q(t)}{2} \Delta t. \quad (4)$$

За этот же промежуток времени через отверстие диаметром d (м) отводится молоко объемом (м^3)

$$Q_{\text{отв}}(t) = \sigma S_0 \sqrt{2g \frac{h(t + \Delta t) + h(t)}{2} \Delta t}, \quad (5)$$

где σ – коэффициент расхода, $\sigma \approx 0,6 \dots 0,7$;

S_0 – площадь отверстия, м^2 ;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Исходя из вышеприведенных уравнений, имеем

$$S_k h(t + \Delta t) - S_k h(t) = \frac{Q(t + \Delta t) + Q(t)}{2} \Delta t - \sigma S_0 \sqrt{2g \frac{h(t + \Delta t) + h(t)}{2} \Delta t}. \quad (6)$$

Разделив уравнение (6) на Δt и перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получаем уравнение, определяющее уровень молока в молоколовушке:

$$S_k \frac{dh}{dt} = Q(t) - \sigma S_0 \sqrt{2gh}. \quad (7)$$

На рисунке 4 представлен график зависимости уровня молока в молоколовушке от времени при $S_k = 0,0035 \text{ м}^2$, $m_{\text{max}} = 1,2 \text{ кг}/\text{мин}$, диаметре выпускного отверстия $d = 0,006 \text{ м}$.

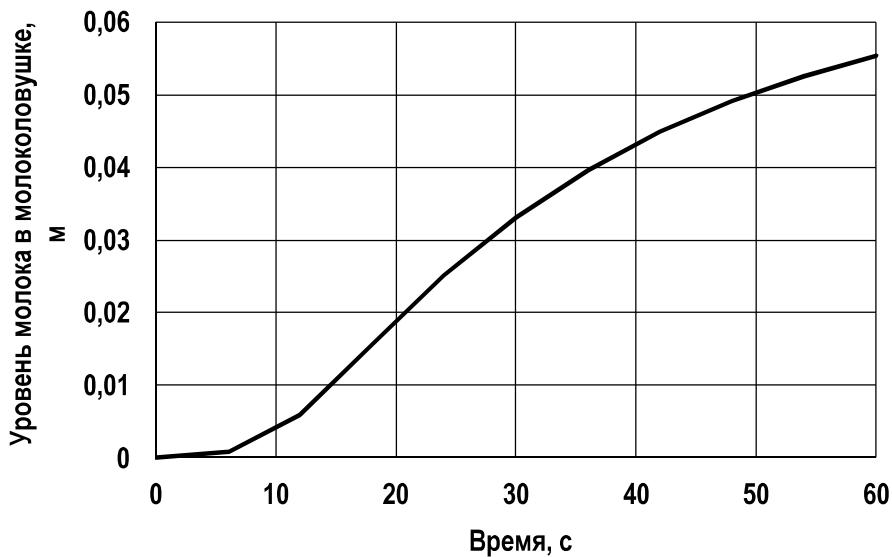


Рис. 4. Зависимость уровня молока в молоколовушке от времени

Из графика, приведенного на рисунке 4, можно определить время T достижения максимального уровня молока в молоколовушке h_{\max} .

Далее перейдем к вопросу определения веса груза в системе молоколовушка – груз (рис. 5).

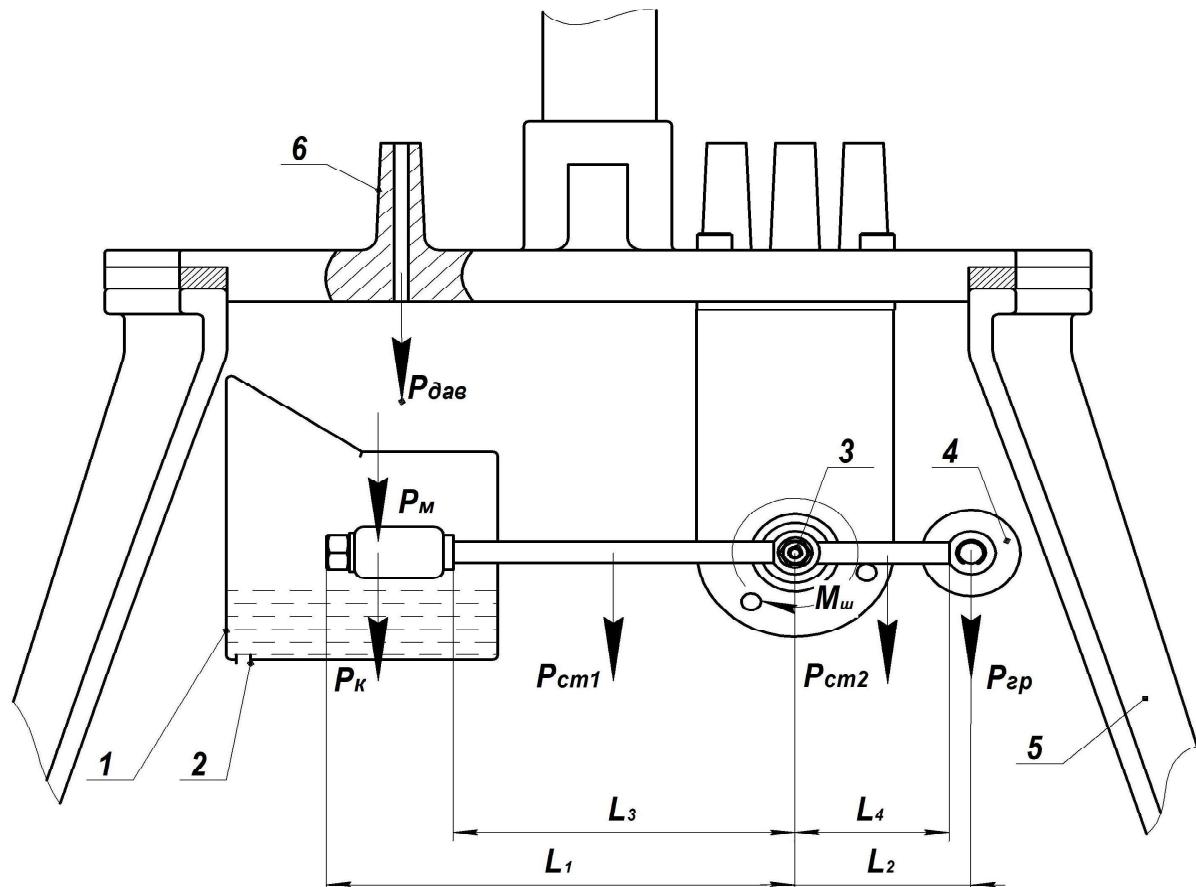


Рис. 5. Схема определения веса груза в системе молоколовушка – груз:
1 – молоколовушка; 2 – отверстие; 3 – шарнир; 4 – груз; 5 – молокоприемник; 6 – патрубок

С одной стороны, на систему молоколовушки – груз действуют такие силы, как сила веса соединяющего стержня P_{cm1} (H), имеющего плечо $L_3/2$, и сила P_I , имеющая относительно шарнира плечо L_I и определяемая по формуле

$$P_I = P_k + P_m + P_{dab}, \quad (8)$$

где P_k и P_m – соответственно вес молоколовушки и молока в ней, H ;

P_{dab} – сила давления струи молока на ковш, H .

С другой стороны, на систему действуют вес груза P_{ep} , имеющий плечо L_2 , и вес соединяющего стержня P_{cm2} , имеющего плечо $L_4/2$.

Для начала опрокидывания системы должно выполняться неравенство

$$P_I L_I + P_{cm1} L_3/2 \geq P_{ep} L_2 + P_{cm2} L_4/2 + M_{uu}, \quad (9)$$

где M_{uu} – момент сопротивления в шарнире ($H \cdot m$), который определяется по формуле

$$M_{uu} = P f d, \quad (10)$$

где f – коэффициент трения в шарнире;

d – диаметр вала, м;

P – общий вес системы, H , определяемый по формуле

$$P = P_k + P_m + P_{dab} + P_{cm1} + P_{cm2} + P_{ep}. \quad (11)$$

Рассмотрим силы, составляющие P_I .

Вес молоколовушки P_k постоянен, вес молока в молоколовушке находится по формуле

$$P_m = S_k \rho h_{max}. \quad (12)$$

Сила давления струи молока на молоколовушку P_{dab} (H) определяется по формуле

$$P_{dab} = \rho S_{cmp} v^2, \quad (13)$$

где S_{cmp} – площадь канала, m^2 ;

v – скорость струи поступающего молока, м/с.

Учитывая, что $v = \frac{Q(T)}{S_{cmp}}$, получаем

$$P_{dab} = \frac{\rho Q(T)}{S_{cmp}}. \quad (14)$$

Из неравенства (9) следует, что вес груза должен удовлетворять неравенству

$$P_{ep} \leq \frac{P_I L_I + P_{cm1} L_3/2 - P_{cm2} L_4/2 - M_{uu}}{L_2}. \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет определить геометрические параметры устройства управления режимом доения.

Заключение

Таким образом, задавая геометрические параметры молоколовушки и используя выражения (7) и (15), можно определить время T отключения стимулирующего режима доения по достижении максимального уровня молока в молоколовушке h_{max} , диаметр выпускного отверстия d и вес груза P_{ep} .

Библиографический список

1. Андрианов Е.А. Исследование устройства для управления режимом работы стимулирующе-адаптивного доильного аппарата / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3 (42). – С. 123–129.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2. К анализу конструкций стимулирующих доильных аппаратов / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, В.П. Шацкий // Современные научно-практические решения XXI века : матер. международной науч.-практ. конф. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 195–201.
3. Карташов Л.П. Инженерные методы расчета биологических параметров системы «Человек – машина – животное» / Л.П. Карташов, С.А. Соловьев, И.А. Бунин. – Оренбург : Издательский Центр ОГАУ, 1997. – 72 с.
4. Карташов Л.П. Машинное доение коров / Л.П. Карташов. – Москва : Колос, 1982. – 301 с.
5. Карташов Л.П. Повышение надежности системы человек – машина – животное / Л.П. Карташов, С.А. Соловьев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2000. – 276 с.
6. Королев В.Ф. Доильные машины: Теория, конструкция и расчет / В.Ф. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1969. – 279 с.
7. Краснов И.Н. Доильные аппараты / И.Н. Краснов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1974. – 228 с.
8. Москалев П.В. Высшая математика. Краткий курс : учеб. пособие / П.В. Москалев, В.П. Богатова, И.В. Гриднева ; под ред. проф. Шацкого В.П. – Воронеж : Воронежский ГАУ, 2009. – 240 с.
9. Обоснование процесса выведения молока из вымени коровы стимулирующим аппаратом непрерывного доения / Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов, Д.И. Яловой // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 2 (224). – С. 32–36.
10. Современные проблемы науки и производства в агронженерии: учебник / Под ред. А.И. Завражнова. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 496 с.
11. Ульянов В.М. Совершенствование технологии машинного доения коров путем разработки стимулирующе-адаптированных доильных аппаратов и манипуляторов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / В.М. Ульянов. – Рязань, 2008. – 300 с.
12. 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 : Агропромиздат, 1987. – 400 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Сергей Алексеевич Бородин – аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-71-36, E-mail: borodin_sa@rambler.ru.

Евгений Александрович Андрианов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российской Федерации, 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», Российской Федерации, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-70-03, E-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Алексей Александрович Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российской Федерации, г. Воронеж, E-mail: alexey739@gmail.com.

Дата поступления в редакцию 06.03.2017

Дата принятия к печати 06.04.2017

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Sergey A. Borodin – Post-graduate Student, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-71-36, E-mail: borodin_sa@rambler.ru.

Evgeniy A. Andrianov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, 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, Russian Federation, Voronezh, tel. 8 (473) 253-70-03, E-mail: mathem@agroeng.vsau.ru.

Aleksey A. Andrianov – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, E-mail: alexey739@gmail.com.

Date of receipt 06.03.2017

Date of admittance 06.04.2017