

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 2 (10), 2021

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных подписчиков; 009992 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включен в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском и английском языках.
Распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой А. Ю. Сидоренко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 03.11.2021. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,50. Уч.-изд. л. 9,30.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014. Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 г. Слоним, Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (гл. ред. журн.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Горбач Ю. Е. (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Зубрицкая Л. С. (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь);

Белый А. В., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть», Минск, Республика Беларусь);

Дремук В. А., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**,

кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Республика Беларусь);

Карташевич А. Н., доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь);

Клочков А. В., доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь);

Клубович В. В., академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь);

Сиваченко Л. А., доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь);

Томило В. А., доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational institution
"Baranovichi State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.
Phone: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;
009992 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian and English. The journal is distributed
on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor A. Y. Sidorenko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 03.11.2021. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 14,50.
Acc.-pub. s. l. 9,30. Circulation of 100 copies.
Order . Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, Doctor of Technical Sciences, Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gorbach Yu. E. (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Zubritskaya L. S. (*ed. of texts in English*) (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A.V.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Educational institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochkov A.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (educational institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Interstate educational institution of higher education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Алифанов А. В., Милюкова А. М., Ционенко Д. А. Модель воздействия импульсного магнитного поля на изделие из титанового сплава

Булойчик И. А. Анализ изменения структурообразования интерметаллидных слоев на основе цинка при цинковании термоупрочненных стальных изделий диффузионным способом из газовой фазы

Дубень И. В., Дремук В. А. Расчет числа витков пружин кручения

Жигалов А. Н., Горавский И. А. Экспериментальные исследования износа осевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, упрочненного аэродинамическим звуковым методом

Жигар В. И., Довгяло В. А., Моисеенко В. Л. Определение экономической эффективности практического применения методов повышения производительности звеносборочной линии КБ03

Качанов И. В., Филипчик А. В., Шаталов И. М., Булыга Д. М., Ковалевич В. С., Недвецкий С. В., Денисов В. А. Гидроабразивная технология очистки металлических поверхностей гребных винтов от коррозии

Михайлов М. И., Тетерич Н. Э., Воробей В. И. К вопросу о диагностике резцов по силе резания в условиях роботизированного технологического комплекса

Сиваченко Л. А., Абдукаликова Г. М., Сотник Л. Л., Дыдышко И. М. Проблемы, задачи и пути развития пружинных технологических аппаратов

Сотник Л. Л., Русан С. И., Сиваченко Л. А. Анализ пропускной способности вибровалкового измельчителя с переменными параметрами движения вала

Чаевский В. В., Кулешов А. К., Рудак П. В., Барчик С., Коледа П. Влияние ионно-плазменной обработки лезвий ножей на режущую способность фрезы при фрезеровании древесины

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Дубень И. В. Агротехническая и энергетическая оценка работы плужных корпусов с углоснимами

Крупенин П. Ю. Анализ фазового портрета пульсаций доильного аппарата

Филиппов А. И., Лещик С. Д., Калугин Ю. К., Дубень И. В. Исследование и разработка модели по оптимизации процесса разбрасывания удобрений

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tsionenko D. A. Model of impact of pulsed magnetic field on titanium alloy product

12 Bulochyk I. A. Analysis of changes in the structure formation of zinc-based intermetallic layers during galvanizing of heat-hardened steel products by diffusion method from the gas phase

17 Duben I. V., Dremuk V. A. Calculation of the number of torsion springs

24 Jigalov A. N., Goravskii I. A. Experimental study of the wear of an axial milling tool made of high-speed steel R6M5, hardened by aerodynamic sound method

42 Zhihar V. I., Dovgualo V. A., Moiseenko V. L. determination of economic efficiency of practical application of methods for improving the productivity of the link assembly line KB03

51 Kachanov I. V., Filipchik A. V., Shatalov I. M., Bulyga D. M., Kovalevich V. S., Nedvetsky S. V., Denisov V. A. Hydro-abrasive technology for cleaning metal surfaces of propellers from corrosion

60 Mikhailov M. I., Teterich N. Э., Vorobei V. I. To the question of cutters diagnostics by cutting force in conditions of a robotic technological complex

67 Sivachenko L. A., Abdalikova G. M., Sotnik L. L., Dydyshko I. M. Problems, tasks and ways of development of spring technological apparatus

78 Sotnik L. L., Rusan S. I., Sivachenko L. A. Analysis of the throughput of a vibrating grinder with variable parameters of the roll movement

88 Chayevski V. V., Kuleshov A. K., Rudak P. V., Barcik Š., Koleda P. The effect of ion-plasma treatment of the blades on the cutting ability of the milling cutter during wood milling

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

95 Duben I. V. Agrotechnical and energy assessment of the work of plough bodies with trashboard

102 Krupenin P. Y. Analysis of the phase portrait of milking machine pulsations

108 Filippov A. I., Leshchik S. D., Kalugin Yu. K., Duben I. V. Research and development of a model for optimizing the fertilizer spreading process

УДК 637.116.5

П. Ю. Крупенин, кандидат технических наук

Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Республика Беларусь, +375 (29) 337 28 97, pavel@krupenin.com

АНАЛИЗ ФАЗОВОГО ПОРТРЕТА ПУЛЬСАЦИЙ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

Статья посвящена процессу диагностирования технического состояния доильных аппаратов с помощью современных приборов проверки доильных установок и последующему анализу полученных данных. Описан алгоритм анализа пульсаций сосковой резины в доильных стаканах по частоте и фазовому портрету, под которым подразумевается длительность отдельных фаз в рабочем цикле доильного аппарата. Рассмотрен современный подход к делению рабочего цикла доильного аппарата на отдельные такты и фазы. Проведен анализ влияния длительности отдельных фаз на физиологичность процесса машинного доения коров. Систематизированы данные об оптимальных интервалах варьирования продолжительности фаз в рабочем цикле доильного аппарата. Выполнен анализ влияния изменений в длительности отдельных фаз на скорость молокоотдачи и состояние здоровья животного после доения. Описано влияние деградации упругих свойств сосковой резины, происходящей в процессе ее эксплуатации, на изменения в фазовом портрете доильного аппарата. Обусловлена важность обеспечения одинакового режима работы для всех доильных аппаратов в составе доильной установки.

Ключевые слова: доильный аппарат; пульсация; сосковая резина; диагностирование; физиология машинного доения.

Рис. 3. Библиогр.: 6 назв.

P. Y. Krupenin, PhD in Technical SciencesBelarusian State Agricultural Academy, 5 Michurina Str., 213407 Horki, the Republic of Belarus
+375 (29) 337 28 97, pavel@krupenin.com

ANALYSIS OF THE PHASE PORTRAIT OF MILKING MACHINE PULSATIONS

The article is devoted to the process of diagnosing the technical condition of milking machines by using modern diagnostic devices and the subsequent analysis of obtained data. The algorithm for analyzing teat cups pulsations by frequency and phase portrait is described by which is meant the duration of individual phases in the working cycle of the milking machine. A modern approach to dividing the working cycle of a milking machine into separate strokes and phases is considered. The influence of the duration of individual phases on the physiological nature of the process of machine milking of cows has been analyzed. The data on the optimal intervals for varying the duration of the phases in the working cycle of the milking machine are systematized. The analysis of the influence of changes in the duration of individual phases on the rate of milk flow and the state of health of the animal after milking has been performed. The influence of degradation of elastic properties of liner during its operation on changes in the phase portrait of the milking machine is described. The importance of ensuring the same operating mode for all milking machines on a farm is noted.

Key words: milking machine; pulsation; liner; diagnosis; physiology of machine milking.

Fig. 3. Ref.: 6 titles.

Введение. В современных условиях отрасль животноводства функционирует на основе интенсивных технологий, предусматривающих высокие уровни механизации и автоматизации производственных процессов, в связи с чем ее техническое переоснащение приобретает совершенно новое смысловое наполнение. В последние годы достаточно четко наметилось изменение вектора развития технических средств в животноводстве от создания техники для обеспечения существующих технологий к разработке новых технологических решений на базе принципиально новых машин и оборудования [1].

В сложившихся обстоятельствах существенным резервом повышения эффективности машинного доения коров является формирование комплексного подхода к механизации данной операции при учете всех нюансов и тонкостей физиологии животного. Используемые на молочно-товарных фермах и комплексах технологические приемы и оборудование для доения должны иметь взаимосвязь между элементами триединой системы «человек—машина—животное», в которой даже малое отклонение от нормы может стать фактором негативного влияния как на качество получаемой продукции, так и на здоровье животного [2; 3].

К сожалению, в ряде сельскохозяйственных предприятий все еще сохраняется поверхностный подход к средствам механизации животноводческих ферм и комплексов. В результате небрежного отношения к технике, неправильной ее эксплуатации и плохой организации технического обслуживания такие предприятия несут существенные потери. Своевременная диагностика и обслуживание доильного оборудования позволяют избежать негативных последствий, проявляющихся в падении продуктивности и росте числа больных животных [4].

Для диагностирования доильных установок применяют специализированное оборудование. Из отечественных образцов подобного оборудования следует отметить прибор проверки доильных установок ППДУ-01, позволяющий измерять уровень вакуумметрического давления в статических и динамических режимах работы доильного оборудования, расход воздуха и частоту вращения ротора вакуумного насоса. Прибор включен в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 11282) и допущен к применению на территории Республики Беларусь [5]. Однако несмотря на широкий функционал прибора, ни в его руководстве по эксплуатации, ни в рекомендованной для студентов агроинженерных специальностей учебной литературе не описана методика анализа результатов измерений фазового портрета пульсаций сосковой резины при работе доильного аппарата.

Материалы и методы исследования. Для определения параметров пульсаций сосковой резины используется диагностический режим «АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИЙ» прибора проверки доильных установок ППДУ-01. При выполнении измерений входы 1—4 (рисунок 1) датчиков вакуумметрического давления подключают к межстенным камерам стаканов доильного аппарата. Подключение измерительного блока 7 прибора осуществляют с помощью силиконовых трубок 6 и тройников 3, устанавливаемых в разрыв между вакуумными трубками 2 и штуцерами гильз доильных стаканов 4. Отверстия в головках стаканов закрывают имитирующими сосок заглушками 5. При диагностировании доильных аппаратов попарного доения входы 1 и 2 измерительного блока должны быть подключены к разным каналам пульсатора 1.

Результаты измерений могут быть представлены на экране прибора в графическом или табличном виде. Графическое представление (рисунок 2, а) позволяет визуально оценить пульсации давления во всех четырех доильных стаканах. При переводе прибора в табличный режим (см. рисунок 2, б) на его экране отображаются численные значения параметров пульсаций: частота пульсаций N ; длительность фаз A , B , C , D ; длительность тактов сосания E и сжатия F ; максимальное и минимальное вакуумметрические давления в межстенных камерах доильных стаканов; длительность периода полного давления $EFAM$.

Пульсации сосковой резины в доильных стаканах анализируются по таким показателям, как частота и фазовый портрет, под которым подразумевается длительность отдельных фаз в рабочем цикле доильного аппарата.

Значение частоты пульсаций представляет собой количество рабочих циклов доильного аппарата, совершаемых за 1 минуту. Частота пульсаций N и продолжительность рабочего цикла T связаны соотношением $N = 1 / T$. Фактическое значение частоты пульсаций N при работе доильного аппарата должно соответствовать его технической характеристике. Для модулей управления доением укомплектованных электромагнитными пульсаторами фактическая частота пульсаций должна находиться в пределах $\pm 5\%$ от рекомендованного производителем значения.

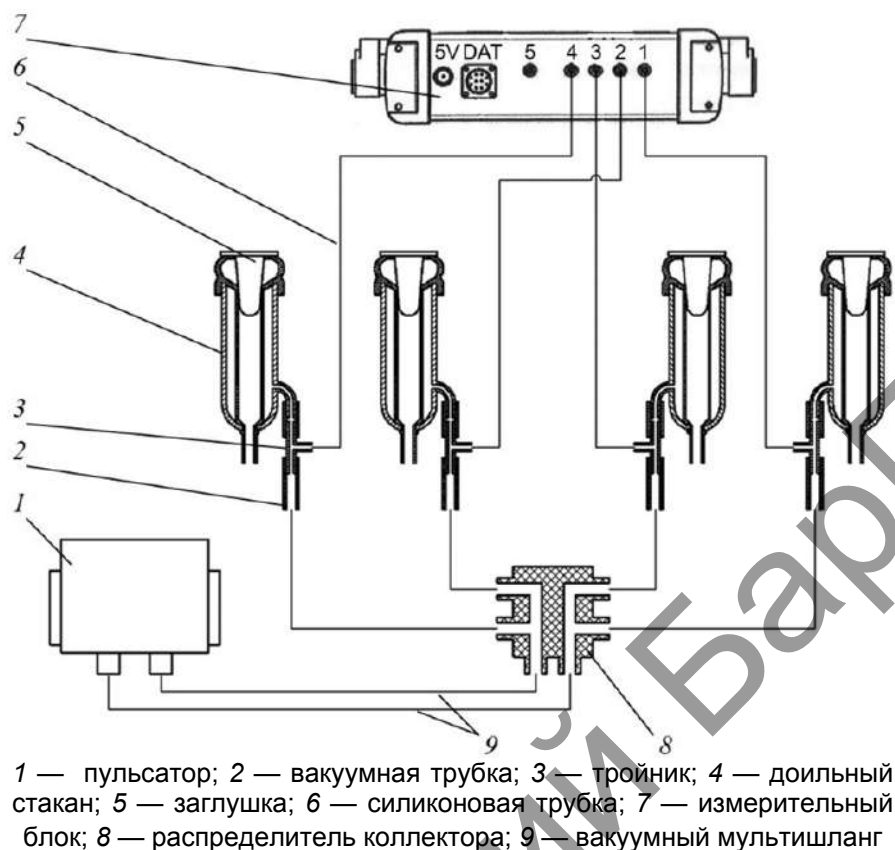
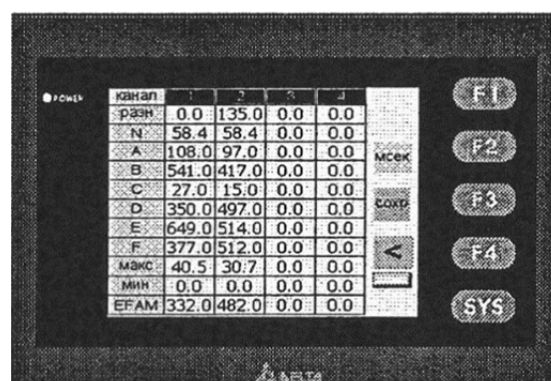


Рисунок 1. — Схема подключения прибора ППДУ-01



а)

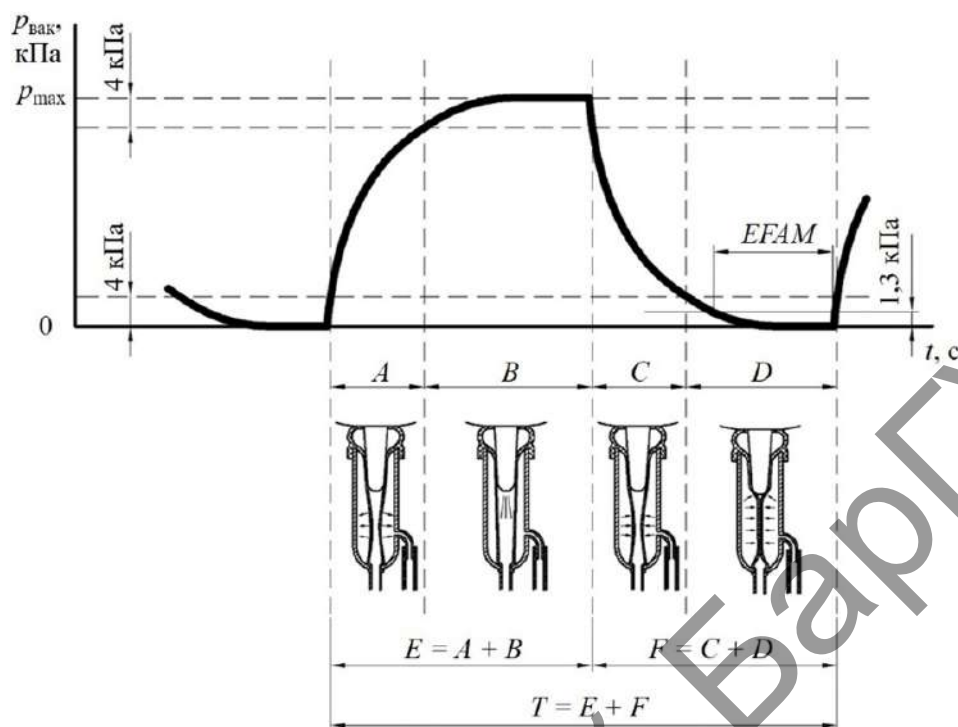


б)

Рисунок 2. — Представление результатов измерения на экране прибора:
а — графический вид; б — табличный вид

Результаты исследования и их обсуждение. В соответствии со стандартом ISO 5707:2007 [6] рабочий цикл двухтактного доильного аппарата делится на четыре фазы, обозначаемые латинскими буквами *A*, *B*, *C* и *D* (рисунок 3).

Фазой *A* называют часть рабочего цикла *T* доильного аппарата, в ходе которой разрежение в межстенной камере увеличивается с 4 кПа до уровня, расположенного на 4 кПа ниже максимального значения вакуумметрического давления p_{\max} . В этой фазе осуществляется переход сосковой резины из закрытого (сжатого) состояния в открытое.



A — фаза открытия сосковой резины; *B* — фаза, в ходе которой сосковая резина находится в открытом состоянии; *C* — фаза закрытия сосковой резины; *D* — фаза, в ходе которой сосковая резина находится в закрытом состоянии; *E* — такт сосания; *F* — такт сжатия; *T* — рабочий цикл; *EFAM* — период полного давления

Рисунок 3. — Схема рабочего цикла двухтактного доильного аппарата

В фазе *B* вакуумметрическое давление в межстенной камере доильного стакана находится в пределах от p_{\max} до $(p_{\max} - 4 \text{ кПа})$. Во время этой фазы сосковая резина полностью открыта и молоко выводится из соска. Очевидно, что продолжительность этой фазы оказывает непосредственное влияние на скорость доения: чем дольше длится фаза *B*, тем быстрее будет происходить выдаивание животного. Однако кроме извлечения молока из вымени в фазе *B* также происходит интенсивный отток внеклеточных жидкостей (кровь, лимфа и др.) к кончику соска. В нормально работающем доильном аппарате эти жидкости возвращаются обратно (выдавливаются к основанию соска) во время такта сжатия. Но если на фазу *B* будет отведено слишком много времени, то длительности такта сжатия окажется недостаточно для полного размассирования скопившихся в кончике соска жидкостей. Как следствие, кончик твердеет, открытие сфинктера соска происходит неполноценно, поток молока закономерно снижается.

Получается, что слишком продолжительная фаза *B*, в ходе которой сосковая резина находится в открытом состоянии, приводит к обратному эффекту: поступление молока из сосков снижается, а время доения животного увеличивается. Одновременно с этим по причине увеличения времени доения и уменьшения скорости молокоотдачи в соске под воздействием вакуума могут происходить нежелательные изменения тканей и раздражения, которые, в свою очередь, повышают риск развития воспаления вымени.

Однако и слишком короткая фаза *B* оказывает отрицательное воздействие на эффективность процесса доения. В этом случае интервал времени, в ходе которого стенки сосковой

резины остаются открытыми, становится слишком коротким, а доение животного длится дольше. Производительность доильного оборудования снижается, а суммарное время, в течение которого сосок находится под вакуумом, увеличивается, что негативно влияет на состояние здоровья вымени в целом.

Стандартом ISO 5707:2007 предписано, что фаза B должна занимать не менее 30 % времени рабочего цикла T доильного аппарата. В большинстве моделей современного доильного оборудования продолжительность этой фазы составляет 450...500 мс.

Фазы A и B вместе образуют такт сосания E , длительность которого определяется конструкцией и настройками пульсатора доильного аппарата. Поскольку $E = A + B$, то любое изменение в длительности любой из фаз влечет за собой обратное изменение другой фазы. Например, если фаза A увеличится на 50 мс, то фаза B неизбежно сократится на тех же 50 мс. Из этого следует, что фаза A не должна быть слишком долгой, поскольку в этом случае она будет автоматически укорачивать фазу извлечения молока B , что приведет к снижению производительности доильного аппарата. Производители доильного оборудования рекомендуют использовать значение в 140 мс в качестве верхней границы продолжительности фазы A .

С другой стороны, чрезмерно короткая фаза A также нежелательна. В этом случае сосковая резина раскрывается слишком быстро, объем подсосковой камеры резко увеличивается, что создает скачек вакуумметрического давления и разрежение в подсосковой камере становится больше, чем в коллекторе. Образование дополнительного разрежения нежелательно, поскольку при этом создаются условия для обратного движения (удара) молока из коллектора в доильный стакан. Обратный удар молока не только нарушает рабочий процесс доильного аппарата, но и является фактором риска переноса инфекции от больной доли вымени к здоровым. Для предотвращения обратного удара молока фаза A должна иметь продолжительность не менее 100 мс.

Во время фазы C вакуумметрическое давление в межстенной камере доильного стакана снижается с уровня ($p_{\max} - 4$ кПа) до 4 кПа и сосковая резина переходит из открытого состояния в закрытое. Фаза C должна составлять не менее 8 % времени рабочего цикла T . Производители доильного оборудования рекомендуют выдерживать продолжительность фазы C в пределах 100...130 мс. Более короткая фаза приводит к слишком быстрому закрытию сосковой резины с последующим резким ударом (хлопком) по соску, что вызывает у животных неприятные ощущения, выражающиеся в беспокойстве и попытках сбросить доильный аппарат с вымени.

Процесс закрытия сосковой резины в фазе C протекает аналогично ее открытию в фазе A . Продолжительность фаз A и C зависит не только от конструкции пульсатора, коллектора и длины вакуумных шлангов, но и от эластичности сосковой резины. Более жесткая сосковая резина быстрее переходит из закрытого (сжатого) состояния в открытое и медленнее в обратном направлении — из открытого в закрытое. Из этого следует, что при увеличении жесткости сосковой резины фаза A сокращается, а фаза C становится более продолжительной. Поскольку длительность тактов сосания $E = A + B$ и сжатия $F = C + D$ постоянна, то одновременно с коррекцией фаз A и C происходит симметричное увеличение фазы B , в ходе которой сосковая резина открыта, и сокращение фазы D , во время которой стенки сосковой резины сжимают сосок. Таким образом, увеличение жесткости сосковой резины приводит к более «агрессивному» воздействию доильного аппарата: длительность периода извлечения молока увеличивается, а длительность периода отдыха, напротив, сокращается.

В фазе D сосковая резина остается закрытой и оказывает массирующее действие на сосок, в результате которого скопившиеся в его кончике внеклеточные жидкости возвращаются обратно к вымени. Благодаря этому кончик соска остается мягким, в фазе B молоко может беспрепятственно и равномерно выходить из камеры соска в доильный стакан.

Слишком быстрая фаза D не обеспечивает достаточного эффекта, поскольку давление на сосок должно оказываться в течение определенного времени. Для более точного

учета интервала времени, на протяжении которого сосковая резина оказывает полноценное давление на сосок, в пределах фазы *D* выделяют период *EFAM*. Под периодом *EFAM* понимают время, в течение которого вакуумметрическое давление в межстенной камере доильного стакана не превышает 1,3 кПа. Согласно современным представлениям о физиологичности машинного доения считается, что фаза *D* должна составлять не менее 15 % от времени рабочего цикла *T* или не менее 150...170 мс, при этом длительность периода полного давления *EFAM* должна быть не менее 150 мс.

Верхняя граница варьирования оптимальной продолжительности фазы *D* составляет 280 мс. Более длительная фаза *D* часто является причиной бескровных и поэтому слишком вялых кончиков сосков, становящихся такими, когда в результате долгого давящего воздействия из них было отмассировано слишком много крови и других жидкостей. В этом случае требуется больше времени на то, чтобы при наступлении фазы *B* сфинктер соска смог полноценно открыться, а следовательно, доение животного будет происходить медленнее.

Особое внимание при диагностировании доильной установки должно уделяться обеспечению одинакового режима работы для всех ее доильных аппаратов. Существенная разница частоты пульсаций или фазового портрета между доильными аппаратами приводит к маститу и снижению продуктивности коров.

Заключение. Условием физиологичного доения является минимизация воздействий на соски, приводящих к изменениям их формы или состояния. Только при его соблюдении операторы машинного доения могут быть уверены, что корова воспринимает доение как приятную процедуру. В противном случае, когда доильный аппарат оказывает негативный эффект на состояние сосков, молокоотдача снижается, а риск возникновения мастита повышается. Анализ фазового портрета доильного аппарата позволяет детально оценить физиологичность процесса машинного доения, на ранней стадии выявить и устранить возможные отклонения в работе пульсатора, а также определить ухудшение упругих свойств сосковой резины.

Список цитируемых источников

1. Проблемы внедрения интенсивных технологий производства молока / А. Ф. Трофимов [и др.] // Актуальные проблемы интенсификации производства продукции животноводства : тез. докл. Междунар. науч.-производств. конф. — Жодино, 2005. — С. 120—121.
2. Крупенин, П. Ю. Методика расчета конструктивных параметров четырехкамерного коллектора доильного аппарата / П. Ю. Крупенин, Д. К. Гупало // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. — 2019. — № 4. — С. 153—160.
3. Современные технологии производства продукции животноводства : рекомендации / В. К. Пестис [и др.] ; под общ. ред. В. К. Пестиса, Е. А. Добрука. — Гродно : ГГАУ, 2011. — 462 с.
4. Рекомендации по техническому сервису доильного оборудования / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, НИЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва ; подгот.: С. К. Карпович [и др.] ; под общ. ред. С. К. Карповича. — Минск : БГАТУ, 2015. — 124 с.
5. Приборы проверки доильных установок ППДУ-01 // Гос. информ. фонд по обеспечению единства измерений [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://oei.by/grsi/view?id=4391357>. — Дата доступа: 04.04.2021.
6. Установки доильные. Конструкция и рабочие характеристики : ISO 5707:2007. — Введ. 15.02.2007. — Женева : Междунар. организация по стандартизации, 2007. — 60 с.

Поступила в редакцию 09.09.2021.