

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.

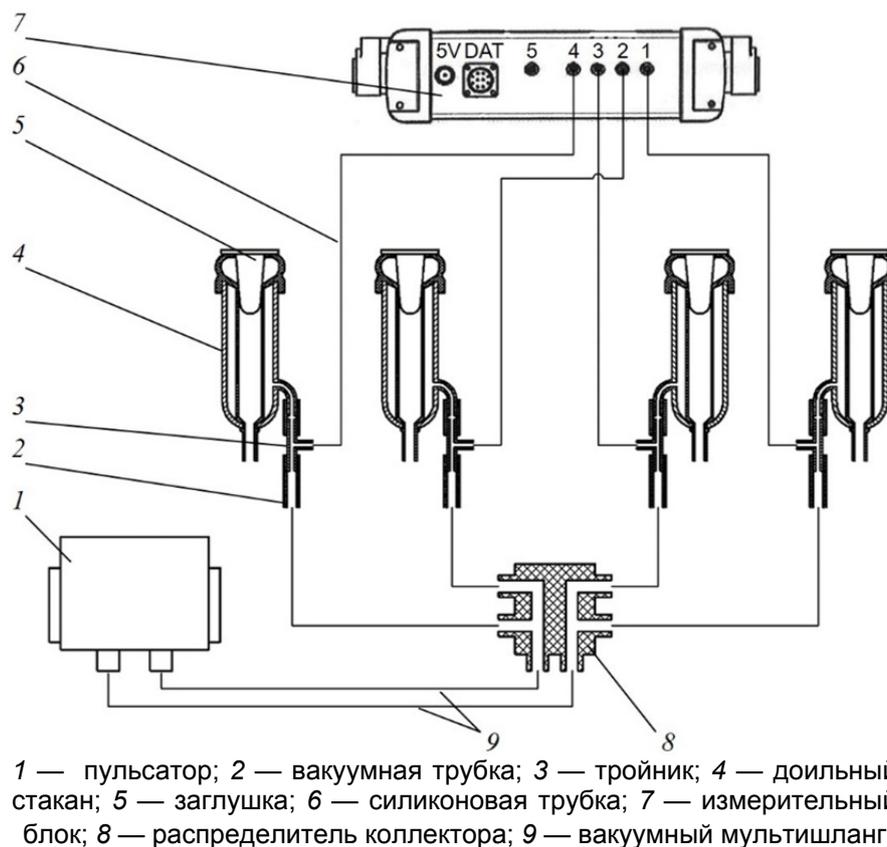
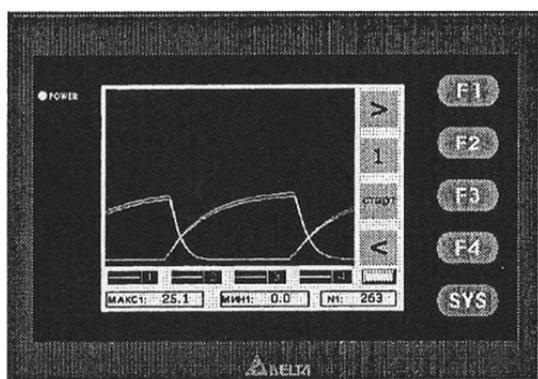
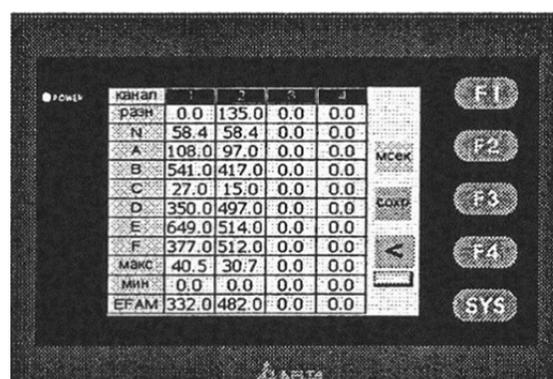


Рисунок 1. — Схема подключения прибора ПДУ-01



а)

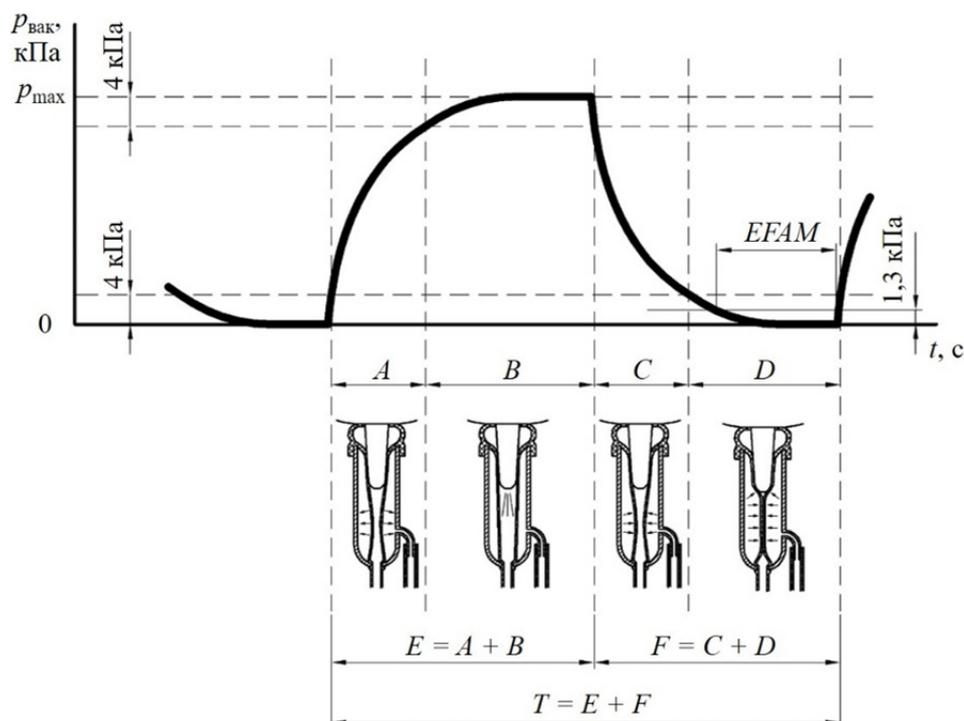


б)

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, НПЦ 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.