

УДК 637.116.4

П. Ю. Крупенин, кандидат технических наук, доцент,**Ю. А. Крупенин**

Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Республика Беларусь, pavel@krupenin.com

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Доение коров — не только наиболее трудоемкая технологическая операция на молочно-товарных предприятиях, но и единственная, которая в полной мере соответствует определению системы «человек—машина—животное», причем оператор машинного доения по-прежнему остается ключевым элементом этой системы, действия которого оказывают непосредственное влияние на безопасность и уровень стресса животных.

Из перечня действий, выполняемых оператором машинного доения, отдельного внимания заслуживает операция по постановке доильного аппарата на вымя, в ходе которой происходит подсос воздуха в систему транспортирования молока, что приводит к колебаниям вакуумметрического давления, ощущаемых на каждом доильном месте.

Стабильность вакуумметрического давления в переходных режимах работы доильной установки характеризуется такими параметрами, как падение давления при постановке доильного аппарата, перебор регулировки при постановке доильного аппарата и недобор регулировки при его снятии.

Измерение величины колебаний вакуумметрического давления в переходных режимах работы доильного оборудования представляет собой комплексный диагностический прием, позволяющий оценить согласованность работы узлов и систем доильной установки.

Ключевые слова: доение коров; доильная установка; диагностирование; вакуумметрическое давление; прибор ППДУ-01; вакуум-регулятор.

Рис. 4. Библиогр.: 7 назв.

P. Y. Krupenin, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,**Y. A. Krupenin**

Educational Institution “Belarusian State of the Orders of October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy”, 5 Michurina Str., 213407 Horki, the Republic of Belarus, pavel@krupenin.com

DIAGNOSIS OF THE MILKING MACHINE IN TRANSIENT OPERATION MODES

Milking cows is not only the most labour-intensive technological operation in dairy enterprises, but also the only one that fully corresponds to the definition of the “man-machine-animal” system, and a man is still the key element of it.

From the list of actions performed by the machine-milking operator, the operation of placing the milking cups on the udder deserves special attention, during which air is sucked into the milk transportation system. It leads to vacuum pressure fluctuations felt at each milking place.

The stability of the vacuum pressure in the transient of operation modes of the milking machine is characterized by such parameters as the pressure drop and, the overshoot of the adjustment when the milking cups are installed and the lack of adjustment when they are removing it.

Measuring the magnitude of fluctuations in vacuum pressure can be used like the consistency criterion of the milking parlor systems.

Key words: milking cows; milking machine; diagnostics; vacuum pressure; device PPDU-01; vacuum regulator.

Fig. 4. Ref.: 7 titles.

Введение. Доеение коров — не только наиболее трудоемкая технологическая операция на молочно-товарных предприятиях, но и единственная, которая в полной мере соответствует определению системы «человек—машина—животное». Одним из направлений повышения эффективности этой системы является улучшение условий деятельности операторов машинного доения. Однако сложность современных технологических и технических элементов процесса машинного доения увеличивает нагрузку на операторов, снижает эффективность их работы и, как следствие, повышает вероятность некачественного выполнения ими ручных операций [1].

Несмотря на то, что производители доильного оборудования активно разрабатывают и внедряют новые технические решения, облегчающие условия труда операторов машинного доения и снижающие количество человеческих ошибок [2], оператор машинного доения по-прежнему остается неотъемлемым элементом системы «человек—машина—животное», а значит, его действия оказывают непосредственное влияние на безопасность и уровень стресса животных.

Из перечня действий, выполняемых оператором машинного доения, отдельного внимания заслуживает операция по постановке доильного аппарата на вымя. Особенностью данной операции является то, что в ходе ее выполнения возможен подсос воздуха в систему транспортирования молока и, как следствие, в вакуумную систему доильной установки. Резкие изменения в расходе воздуха доильной установкой приводят к колебаниям вакуумметрического давления в ее системах, которые ощущаются на каждом доильном месте и представляют собой дополнительный стрессовый фактор для доящихся на них коров.

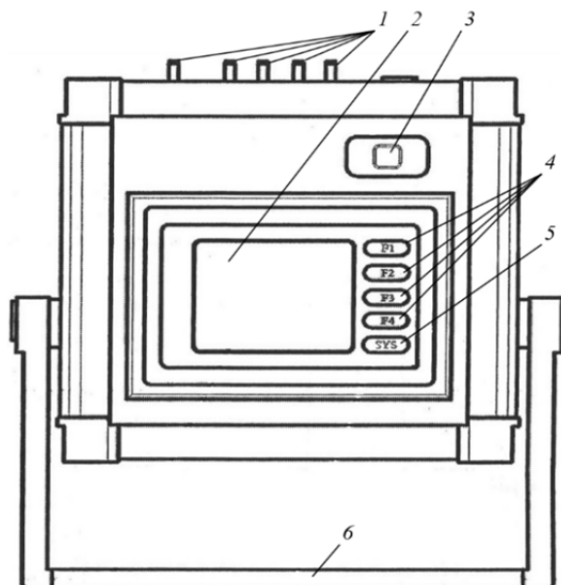
Амплитуда колебаний вакуумметрического давления во время постановки доильного аппарата на вымя зависит от двух факторов: квалификации оператора машинного доения и технического состояния систем доильной установки, методика оценки которого рассматривается в данной статье.

Материалы и методы исследования. Комплексное диагностирование технического состояния систем доильной установки невозможно без использования специализированного оборудования [3; 4]. Из его отечественных образцов следует отметить прибор проверки доильных установок ППДУ-01, позволяющий измерять уровень вакуумметрического давления в статических и динамических режимах работы доильной установки, расход воздуха и кинематические параметры вакуумного насоса. Прибор включен в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 11282) и допущен к применению на территории Республики Беларусь [5].

Прибор проверки доильных установок ППДУ-01 состоит из блока измерительного функционального БИФ-01, датчика расхода воздуха ДРВ-01, датчика частоты вращения ДСВ-01, комплекта принадлежностей и пластикового кейса для переноски. Измерительный функциональный блок БИФ-01 является главной частью прибора. На его верхней панели расположен сенсорный дисплей 2 (рисунок 1) с четырьмя кнопками управления 4 и системной кнопкой 5.

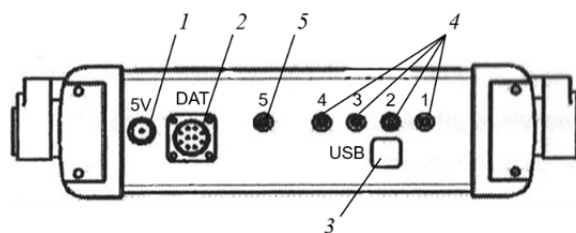
Размещение элементов измерительного блока на его задней панели показано на рисунке 2. Разъем «5V» служит для подключения блока к сетевому адаптеру (блоку питания). Подключение датчиков расхода воздуха ДРВ-01 и частоты вращения ДСВ-01 осуществляется через разъем «DAT». На задней панели измерительного также размещены входы (штуцеры) 4 и 5 датчиков давления. Для измерения вакуумметрического давления используются входы «1», «2», «3» и «4». Вход «5» служит для измерения избыточного давления.

Управление прибором, включая выбор необходимых пунктов меню, запуск измерений и сохранение их результатов во встроенной памяти осуществляются функциональными кнопками «F1»—«F4». Действия, выполняемые прибором при нажатии пользователем на определенную кнопку, условно обозначаются на экране напротив соответствующей функциональной кнопки.



1 — штуцеры датчиков давления; 2 — дисплей;
3 — кнопка «Сеть»; 4 — кнопки управления
«F1»—«F4»; 5 — системная кнопка «SYS»;
6 — ручка

**Рисунок 1. — Размещение элементов на
верхней панели измерительного блока
БИФ-01**



1 — разъем «5V»; 2 — разъем «DAT»; 3 —
разъем «USB»; 4 — входы датчиков вакуум-
метрического давления; 5 — вход датчика
избыточного давления

**Рисунок 2. — Размещение элементов
на задней панели измерительного блока
БИФ-01**

Результаты исследования и их обсуждение. Измерение величины колебаний вакуумметрического давления в системе транспортирования молока доильной установки, возникающих при постановке доильного аппарата на вымя, осуществляется в режиме «ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ», который активируется из главного меню прибора ППДУ-01. Измерение выполняется в три этапа, в ходе которых на экран прибора выводятся указания диагностику по его дальнейшим действиям.

В общем виде измерение выполняется в следующей последовательности:

- 1) вход «1» датчика давления блока БИФ-01 соединяют с молокосорборником;
- 2) перекрывают клапаны коллекторов всех доильных аппаратов;
- 3) включают доильную установку и ожидают 10...15 с для стабилизации вакуумметрического давления в ее системах;

- 4) нажимают на кнопку «F1» измерительного блока;
- 5) при появлении на экране сообщения «Включите доильную единицу» открывают клапан коллектора (доильные стаканы не должны быть закрыты заглушками, а молочные трубки не должны быть пережаты), после чего нажимают на кнопку «F2»;
- 6) продолжают следить за экраном прибора и при появлении на нем сообщения «Выключите доильную единицу» закрывают клапан коллектора, после чего нажимают на кнопку «F3»;
- 7) через 10 с измерение автоматически завершается, его результаты выводятся на экран прибора (рисунок 3).

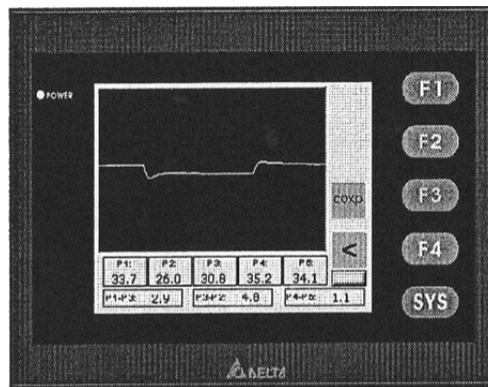


Рисунок 3. — Представление результатов измерения в режиме «ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ»

Результаты измерения в режиме «ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ» представляются на экране в виде графика вакуумметрического давления и блока числовых данных (рисунок 3). На графике отображаются изменения вакуумметрического давления в системе транспортирования молока, возникающие при постановке и снятии доильного аппарата с вымени. В нижней части экрана приводятся значения вакуумметрического давления в ключевых точках графика.

Рассмотрим алгоритм обработки получаемых в режиме «ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ» диагностических данных. До постановки доильного аппарата на вымя (клапан коллектора закрыт) в молокоборнике устанавливается начальное вакуумметрическое давление p_1 (рисунок 4). В момент времени $t_{\text{подкл}}$ произошло открытие клапана коллектора — расход воздуха доильной установкой резко увеличился, а вакуумметрическое давление «просело» до уровня p_2 . Через некоторое время произошло срабатывание вакуум-регулятора, в результате чего давление возросло и стабилизировалось на уровне p_3 .

Разность начального p_1 и установившегося в молокоборнике при открытом клапане коллектора p_3 значений называется падением давления при постановке доильного аппарата: $p_{\Delta 1-3} = p_1 - p_3$.

Разность между минимальным p_2 и установившимся p_3 значениями вакуумметрического давления при открытии клапана коллектора косвенно отражает быстроту реагирования вакуум-регулятора и называется перебором регулировки при постановке доильного аппарата: $p_{\Delta 3-2} = p_3 - p_2$.

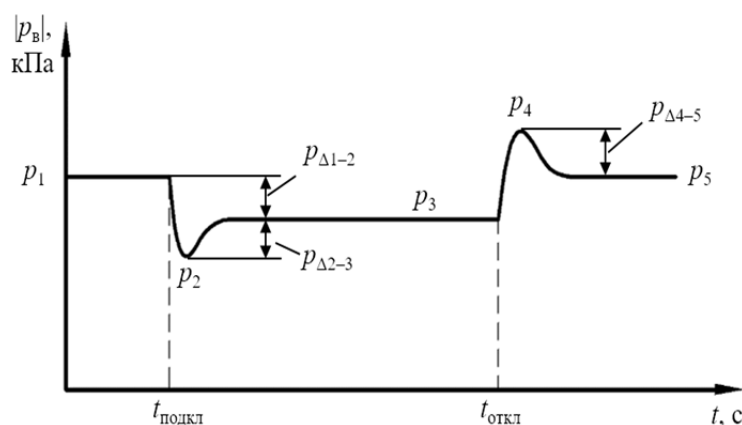


Рисунок 4. — Схема к анализу колебаний вакуумметрического давления при постановке и снятии доильного аппарата

При отключении доильного аппарата (закрытии клапана его коллектора) в момент времени $t_{\text{откл}}$ приток воздуха в систему транспортирования молока резко сократился, что вызвало обратный скачек вакуумметрического давления до максимального значения p_4 (см. рисунок 4). Спустя некоторое время вакуум-регулятор реагирует на изменение условий работы доильной установки и стабилизирует вакуумметрическое давление на уровне p_5 .

Разность между максимальным p_4 и установившимся p_5 значениями вакуумметрического давления при закрытии клапана коллектора называется недобором регулировки при снятии доильного аппарата: $p_{\Delta 4-5} = p_4 - p_5$.

В технически исправной доильной установке скачки вакуумметрического давления $p_{\Delta 1-3}$, $p_{\Delta 3-2}$ и $p_{\Delta 4-5}$ не должны превышать 2 кПа [6; 7]. С другой стороны, по итогам диагностирования действующих доильных установок с линейным молокопроводом на практике этому критерию в большинстве случаев соответствует только величина недобора регулировки при снятии доильного аппарата $p_{\Delta 4-5}$, в то время как значения падения давления $p_{\Delta 1-3}$ и перебора регулировки $p_{\Delta 3-2}$ при постановке доильного аппарата могут достигать 5...8 кПа.

Следует отметить, что вышеописанная методика измерений имитирует наихудшую, характерную для работы начинающих операторов машинного доения ситуацию, когда при постановке доильного аппарата на вымя подсос воздуха происходит одновременно через четыре доильных стакана. Опытный же работник в состоянии обеспечить постановку доильного аппарата быстро и с минимальным подсосом воздуха.

Тем не менее доильные установки проектируются исходя из наихудшего сценария и должны обеспечивать стабильный уровень вакуумметрического давления даже в переходных режимах работы. Сглаживание колебаний давления осуществляют как емкостные части доильной установки (молокосборник, ресивер, вакуум-баллон, вакуум-провод увеличенного сечения), так и регулирующие устройства (гравитационный вакуум-регулятор, сервовакуумный регулятор, система частотного регулирования VOD и др.).

Наиболее вероятными причинами, вызывающими падение давления при постановке доильного аппарата $p_{\Delta 1-3}$ более чем на 2 кПа, являются: несоответствие подачи вакуумного насоса требованиям доильной установки; недостаточная пропускная способность вакуумной системы; негерметичность вакуум-регулятора.

Факторами, приводящими к перебору $p_{\Delta 3-2}$ или недобору $p_{\Delta 4-5}$ регулировки свыше 2 кПа, могут быть: недостаточный рабочий объем узлов доильной установки, предназначенных для сглаживания пульсаций давления (ресивер, вакуум-баллон, молокоосборник); несоответствие проходного сечения вакуум-провода подаче вакуумного насоса; неисправности регулирующих устройств (заклинивание клапана, повреждение мембраны, сбой настроек и др.).

Из вышеприведенных перечней возможных неисправностей следует, что измерение стабильности вакуумметрического давления в переходных режимах работы доильного оборудования, т. е. при постановке и снятии доильных аппаратов, представляет собой комплексный диагностический прием, позволяющий оценить согласованность работы узлов и систем доильной установки.

Заключение. Применение современных диагностических комплексов обеспечивает многостороннюю оценку технического состояния доильного оборудования.

Стабильность вакуумметрического давления в переходных режимах работы доильной установки характеризуется такими параметрами, как падение давления при постановке доильного аппарата, перебор регулировки при постановке доильного аппарата и недобор регулировки при его снятии.

Большая часть из обследованных доильных установок с линейным молокопроводом не соответствует критериям стабильности вакуумметрического давления в переходных режимах, что создает дополнительный стрессовый фактор для доящихся коров и повышает требования к компетентности операторов машинного доения.

Список цитированных источников

1. 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.
2. Яковенко, Т. П. Повышение технологической надежности оператора путем совершенствования условий труда в системе «человек-машина-животное»: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Т. П. Яковенко. — Оренбург, 2003. — 24 с.
3. Крупенин, П. Ю. Анализ фазового портрета пульсаций доильного аппарата / П. Ю. Крупенин // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2021. — № 2 (10). — С. 102—107.
4. Крупенин, Ю. А. Диагностирование параметров водокольцевого вакуумного насоса доильной установки / Ю. А. Крупенин, П. Ю. Крупенин // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения : сб. науч. работ. — Брянск : Изд-во Брян. ГАУ, 2019. — Вып. 1 (21). — С. 109—117.
5. Приборы проверки доильных установок ППДУ-01 [Электронный ресурс] // Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений. — Режим доступа: <http://oei.by/grsi/view?id=4391357>. — Дата доступа: 05.09.2022.
6. Установки доильные. Конструкция и рабочие характеристики : ISO 5707:2007. — Введ. 15.02.2007. — Женева : Междунар. организация по стандартизации, 2007. — 60 с.
7. Установки доильные. Механические испытания : ISO 6690:2007. — Введ. 15.02.2007. — Женева : Междунар. организация по стандартизации, 2007. — 48 с.

Поступила в редакцию 04.10.2022.