

ISSN 0002–354X (print)

УДК 636.2.034:637.116

Поступило в редакцию 03.02.2017

Received 03.02.2017

В. О. Китиков*НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь***ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ВАКУУМНОГО КОНТУРА
ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ ЩАДЯЩЕГО ПРОЦЕССА
МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ***(Представлено членом-корреспондентом В. В. Азаренко)*

В сообщении приведены результаты исследований, цель которых – обоснование режимных параметров рабочего вакуумного контура доильных установок с повышенной стабильностью давления, обеспечивающих бесстрессовое молоковыведение. Бесстрессовость является одним из необходимых условий физиологически щадящего процесса машинного доения коров, позволяющего увеличить продуктивное долголетие животных и их молочную продуктивность, а также снизить уровень удельных затрат при производстве молока.

В результате исследований разработан рабочий вакуумный контур с повышенной стабильностью давления, отличающийся новой функциональной и пространственной структурой. Обоснован эффективный диапазон давления в рабочем вакуумном контуре, а также параметры стабильности давления, включая градиент давления по длине трубопроводов, временную нестабильность, амплитуду пульсаций давления и коэффициент релаксации этих пульсаций.

Ключевые слова: машинное доение, бесстрессовость, рабочий вакуумный контур.

V. O. Kitikov*Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization,
Minsk, Republic of Belarus***RATIONALE OF VACUUM OPERATING CIRCUITS REGIME PARAMETERS OF MILKING MACHINES FOR
PHYSIOLOGICALLY SPARING PROCESS OF COWS MACHINE MILKING***(Communicated by Corresponding Member V. V. Azarenko)*

There are the research results, whose purpose is to justify the regime parameters of the vacuum operating circuit of milking units with high pressure stability, providing stress-free lactation. The “stress-free milking mode” is one of the necessary conditions for the physiologically sparing process of cow machine milking, allowing one to increase the productive longevity of animals and their milk productivity and to reduce unit costs in the milk production.

As a result of research, a working vacuum circuit with an increased pressure stability of pressure has been developed, which is characterized by a new functional and spatial structure. Justified is the effective pressure range in the vacuum operating circuit, as well as pressure stability parameters, including a pressure gradient along the pipeline length, a temporary instability, an amplitude of pressure pulsations, and relaxation coefficient of these pulsations.

Keywords: machine milking, stress-free, vacuum operating circuit.

Введение. Одной из главных научно-технических задач в молочной отрасли в настоящее время является совершенствование процесса машинного доения. Жесткий режим работы доильного оборудования часто приводит к травмированию животных. Следствием этого является высокая заболеваемость коров маститом (иногда до 30 % стада), что негативно отражается на их молочной продуктивности (количество и качество молочного сырья) [1–3]. Так как уровень удельных затрат в значительной степени определяется молочной продуктивностью коров и только в процессе машинного доения реализуется непосредственный контакт вымени с рабочими органами доильного аппарата, несовершенство этого процесса сводит на нет усилия коллектива всей отрасли. В связи с этим, не умаляя значимости сбалансированного кормления, условий содержания животных в коровнике и зооветеринарной профилактики, можно утверждать, что в настоящее время именно процесс машинного доения играет ключевую роль в повышении молочной продуктивности, так как если процесс машинного доения и доильное оборудование не-

эффективны (травмируют коров), то генетический потенциал, кормление и условия преддоильного содержания животных не имеют решающего значения.

В работе [1] показано, что процесс машинного доения нуждается в инновационной модернизации, связанной прежде всего с привлечением новейших знаний из молекулярной биологии и учетом физиологического состояния животных. В результате анализа процесса машинного доения установлено, что на полноту забора молока из вымени животных большое влияние оказывают величина давления разрежения в рабочем вакуумном контуре и стабильность этого давления.

Стресс животных на ферме вызывается целым рядом причин, которые в основном обусловлены несовершенством процесса машинного доения. Бесстрессовость является необходимым условием доения, так как появляющийся при стрессе в крови животных адреналин блокирует окситоцин, благодаря которому молоко из альвеол переходит в цистерну вымени. Для реализации физиологически щадящего процесса машинного доения большое значение имеет правильный выбор такого параметра, как давление разрежения в рабочем вакуумном контуре. Как показал опыт отечественных и зарубежных хозяйств, повышение давления разрежения приводит к увеличению заболеваемости маститом, а его чрезмерное уменьшение – к неполному выдаиванию коров. В обоих случаях неправильно выбранный диапазон давления приводит к снижению молочной продуктивности.

Давление разрежения в рабочем вакуумном контуре – это движущая сила, которая обеспечивает молоковыведение и транспортирование молока в технологические емкости. Очевидно, что чем больше перепад давления между выменем животного и коллектором доильного аппарата, тем больше скорость молоковыведения, и наоборот. Перепад давления не должен вызывать болевых ощущений у животных. Анализируя работы отечественных и зарубежных ученых, а также сложившуюся практику в молочном животноводстве, можно прийти к выводу, что номинальный уровень давления разрежения должен находиться в диапазоне 38–50 кПа [3–6]. В связи с тем, что в научно-технической литературе нет четких сведений об оптимальной величине давления разрежения, и даже в какой-то степени эти данные противоречат друг другу, обоснование диапазона давления разрежения в рабочем вакуумном контуре для реализации физиологически щадящего процесса машинного доения представляет научный и практический интерес.

Кроме величины давления, одной из причин гидродинамического травмирования животного является нестабильность давления, а также высокая амплитуда его пульсации, возникающие при съеме–надевании подвесной части доильного аппарата, что отрицательно сказывается на количестве и качестве молочного сырья

Цель работы – обоснование режимных параметров рабочего вакуумного контура, способствующих реализации физиологически щадящего процесса машинного доения.

Материалы и методы исследований. Рабочий вакуумный контур выполняет две ключевые функции в процессе машинного доения – выведение молока из вымени в коллектор и транспортирование его к месту охлаждения и временного хранения. Рабочий контур представляет собой гидравлическую систему, содержащую несколько типов гидравлических трактов, отличающихся по своим характеристикам. К гидравлическим трактам относятся трубопроводы с однофазным воздушным потоком и трубопроводы, по которым движется двухфазный поток молоковоздушной смеси (молокопроводы); молокосорники, где благодаря значительному объему внутреннего пространства, скорость потока стремится к нулю, в связи с чем происходит разделение жидкой и газообразной фаз (молока и воздуха); и доильные стаканы, в которых осуществляется смена тактов сосания и сжатия при молоковыведении.

Стабильность давления в рабочем вакуумном контуре определяется четырьмя характеристиками: градиентом давления по длине трубопроводов (Па/м), временной нестабильностью (Па), амплитудой пульсаций давления, вызываемой надеванием–снятием доильных стаканов (Па) и коэффициентом релаксации этих пульсаций (Па·с).

В настоящее время для большинства белорусских молочных ферм характерно применение доильного оборудования, разработанного в 1960–1970-е годы, которое на сегодняшний день

является морально устаревшим. Рабочий вакуумный контур этого оборудования содержит в себе следующие элементы: доильные аппараты, вакуумную систему, систему вакуумных и молочно-вакуумных трубопроводов, молокоприемник с системой отделения молока от воздуха и молочным насосом, один ресивер с одним воздушным клапаном мембранного или пружинного принципа действия, необходимым для стабилизации давления в контуре [7; 8].

Анализ этих экспериментальных данных, полученных в результате тестирования известного рабочего вакуумного контура, позволил сделать вывод о том, что стабильность давления в контуре является недостаточной, что приводит к возникновению стресса животных в процессе машинного доения. В частности, градиент давления в контуре приводит к тому, что треть коров в группе выдаивается при давлении разрежения ≈ 44 кПа, треть – при ≈ 46 кПа, а еще одна треть – при ≈ 48 кПа. Так как коровы занимают доильные места случайным образом, то при каждой дойке они выдаиваются при разных значениях давления разрежения. Низкая стабильность давления при машинном доении не позволяет сформировать у животных устойчивый условный рефлекс молоковыведения. Однако более существенным недостатком известного контура является недопустимо высокая амплитуда пульсации давления до 45 кПа, вызываемая случайным характером начала и окончания доения коров на соседних доильных местах. Травмирование вымени животного в результате гидродинамического удара, при котором давление в подсосковом пространстве изменяется от 50 до 95 кПа, вызывает выброс адреналина, блокирующего комфортный процесс доения, и, как следствие – снижение удоев и качества молока, неоправданно высокую выбраковку животных из-за мастита [1; 9].

Комплекс мероприятий, направленных на повышение стабильности давления в рабочем вакуумном контуре, включает разработку новых принципов его функционирования и структурную реорганизацию, в том числе симметричность, закольцованность, увеличение объема ресиверов, существенное увеличение количества управляемых воздушных клапанов [10].

Принцип симметричности заключается в расположении двух пар «ресивер–молокоприемник» симметрично относительно центра доильного зала (рис. 1). Симметричность предопределяет равенство давлений в контуре вдоль оси симметрии контура.

Принцип закольцованности позволяет создать замкнутый контур, что дополнительно обеспечивает повышение однородности давления.

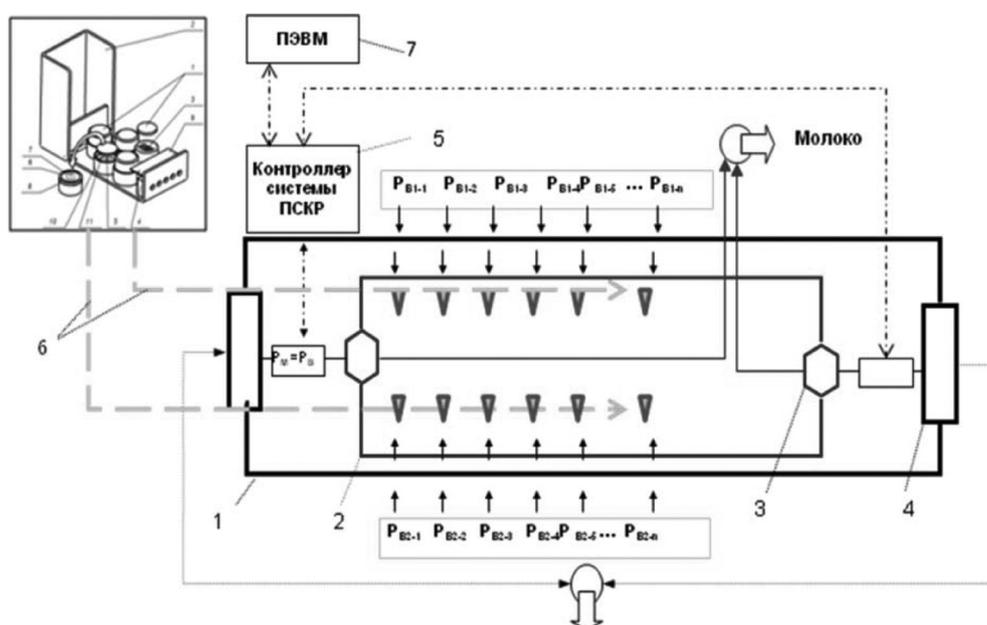


Рис. 1. Схема рабочего вакуумного контура с повышенной стабильностью давления: 1 – вакуумпровод; 2 – молокопровод; 3 – молокоприемник; 4 – ресивер; 5 – контроллер; 6 – система воздушных клапанов; 7 – компьютер

Fig. 1. Schematic view of the working vacuum circuit with increased pressure stability: 1 – vacuum line; 2 – milk line; 3 – milk collector; 4 – receiver; 5 – controller; 6 – air valve system; 7 – computer

Наличие большого числа воздушных клапанов (один на каждое доильное место) позволяет оперативно стабилизировать давление при различных вариантах изменения его величины, например, при окончании доения на соседнем доильном месте, и не допускает скачков давления на других доильных местах. Вместе с тем стабилизация давления в такой системе при большом количестве управляемых факторов становится чрезвычайно сложной и может быть реализована только при наличии автоматизированного управления на основе применения информационной управляющей системы, которая для своего функционирования требует фундаментального изучения массообменных процессов в рабочем контуре.

С учетом описанных выше принципов был разработан новый рабочий вакуумный контур, включающий в себя доильные аппараты, два симметрично расположенных молокоприемных узла с системой отделения молока от воздуха и молочными насосами, вакуумную систему, вакуумпроводы, два симметрично расположенных ресивера, контроллер децентрализованной системы полноконтурного параметрического контроля, обеспечивающий непрерывный контроль и стабилизацию давления в контуре. Система включает в себя n -количество воздушных электромагнитных клапанов и датчиков давления, а также систему управления, реализованную в виде отдельного контроллера, взаимодействующего с датчиками, персональный компьютер (ПК) и исполнительные механизмы (см. рис. 1). Эти устройства обеспечивают стабильность давления в процессе машинного доения в режиме автоматизированного управления за счет работы их в противофазе с неуправляемым натеканием, что является важнейшим преимуществом предложенного контура.

Результаты и их обсуждение. Можно предположить, что оптимальный режим машинного доения должен в некоторой степени имитировать естественный процесс взаимодействия теленка и коровы. Анализ такого взаимодействия показывает, что воспроизведение естественного процесса в полном объеме для промышленного производства молока неприемлемо. Давление разрежения, которое создает теленок, составляет величину 17–20 кПа. Теленок делает 8 подходов в сутки, высасывая в общей сложности до 12 кг молока. Время одного подхода составляет ≈ 5 мин. Так как общее время сосания около 40 мин, то максимальная скорость молоковыведения составляет 0,3 кг/мин. Однако такая скорость доения при промышленном производстве молока не обеспечит требуемый уровень рентабельности.

Время нахождения окситоцина в крови животных ограничено 4–5 мин [11]. Поэтому при разовом удое в 10 кг/гол/дойка, скорость забора молока из вымени животных должна равняться 2–2,5 кг/мин, что на порядок превышает скорость «естественного» выдаивания.

Так как полное выдаивание коров без окситоцина в крови невозможно, то для обеспечения полноты альвеолярного выдаивания приходится повышать скорость забора молока из вымени за счет повышения давления разрежения в рабочем вакуумном контуре. Высокий уровень давления разрежения (48–50 кПа) позволяет выдоить корову за относительно небольшое время, однако при этом существенно увеличивается вероятность гидродинамического травмирования вымени, и, следовательно, заболевания маститом. Низкий уровень давления разрежения (38–42 кПа) приводит к снижению вероятности заболевания коров маститом, однако при этом проблематично организовать полноту альвеолярного выдаивания за время действия гормона (4–5 мин), а это отрицательно скажется и на величине удоев, и на величине жирности, так как только последние порции альвеолярного молока обладают максимально высокой жирностью (15–20 %). Поэтому уровень давления в рабочем вакуумном контуре это своего рода компромисс, между производительностью процесса, количеством и качеством молочного сырья и здоровьем животных.

Для определения приемлемого диапазона давления рассмотрим процесс натекания газа¹ из объема доильного зала в рабочий вакуумный контур (негерметичные уплотнения узлов, калиброванные отверстия в коллекторе, воздушные клапаны). Сразу после включения вакуумного насоса разность давления между магистральным вакуум-проводом и атмосферой будет невелика, и скорость натекания газа в контур не будет превосходить нескольких метров в секунду. При дальнейшем медленном понижении давления в контуре скорость натекания газа будет повышаться (рис. 2).

¹ Имеется в виду воздух, нормальные условия: $P_N = 1,01325 \cdot 10^5$ Па, $T_N = 20$ °.

Создаваемые насосом в вакуумном контуре возмущения давления распространяются со скоростью звука против движения газа в вакуумном контуре из атмосферы. Возмущение давления из вакуумного контура будет передаваться в атмосферу доильного зала до тех пор, пока скорость натекания газа не достигнет скорости звука.

После этого возмущения давления не смогут выйти в атмосферу, так они будут сноситься звуковым потоком газа. Продолжающееся понижение давления в вакуумном контуре не изменит характер натекания газа из атмосферы в контур, и скорость натекания газа в вакуумный контур будет постоянной, равной скорости звука. При дальнейшем уменьшении давления в вакуумном контуре ($P < P_{кр}$, см. рис. 2) наступает явление «запирания» отверстия, через которое натекает газ, несмотря на то что давление в вакуумном контуре продолжает уменьшаться.

Согласно [12], массовый расход воздуха dM / dt (кг/(м²·с)), натекающего в рабочий вакуумный контур, определяется соотношением

$$\frac{dM}{dt} = \begin{cases} \left(\frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k\rho_0 p_0} \sqrt{\left(\frac{k+1}{k-1} \right) \left(\frac{1+k}{2} \right)^{\frac{2}{k-1}} \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, & p \geq p_0 \left(\frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \\ \left(\frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k\rho_0 p_0}, & p < p_0 \left(\frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \end{cases}$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для двухатомного газа (воздух); $\rho_0 = 1,202$ кг/м³ – плотность воздуха при нормальных условиях.

Две ветви этой функции соответствуют двум режимам натекания воздуха в рабочий вакуумный контур: верхняя – возрастающему дозвуковому, нижняя – постоянному звуковому, сопровождаемому известным явлением «запирания» потока. Критическое значение давления, при котором происходит смена режима течения, равно

$$p_{кр} = p_0 \left(\frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0,5285 p_0 = 53,53 \text{ кПа}. \quad (1)$$

Из (1) следует один очень важный вывод: переход воздуха из дозвукового режима натекания в звуковой, который осуществляется при критическом давлении $p_{кр} = 0,5283 p_0 = 53,530$ кПа (что соответствует давлению разрежения в рабочем вакуумном контуре $\Delta p = p_0 - p = 101,325 - 53,530 = 47,795 \approx 47,8$ кПа), приводит к возникновению в термодинамически неустойчивом недорасширенном потоке воздуха, имеющем сложную пространственную газодинамическую структуру, автоколебаний, приводящих к наличию скачков уплотнения и областей разрежения (эффект Гартмана [13]). Пульсации давления газа в вакуумном контуре вызывают болевое ощущение и травмирование вымени при машинном доении, что провоцирует стресс у животных со всеми вытекающими отсюда последствиями: выделение в кровь адреналина, блокирующего окситоцин, и, как следствие этого, неполное выдаивание, снижение жирности, увеличение содержания соматических клеток, увеличение вероятности заболевания маститом, снижение продуктивного долголетия.

Поэтому для реализации бесстрессового дозвукового режима натекания, давление в рабочем вакуумном контуре должно быть больше критического $p > 53,5$ кПа, что соответствует давлению разрежения $\Delta p < 47,8$ кПа. По-видимому, этим можно объяснить тот факт, что на практике, еще в начале XX в., был оставлен безопасный интервал верхней границы давления разрежения

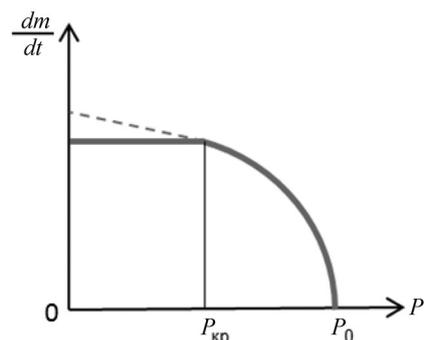


Рис. 2. Зависимость скорости натекания воздуха от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре

Fig. 2. Air flow velocity as a function of rarefaction pressure in the working vacuum circuit

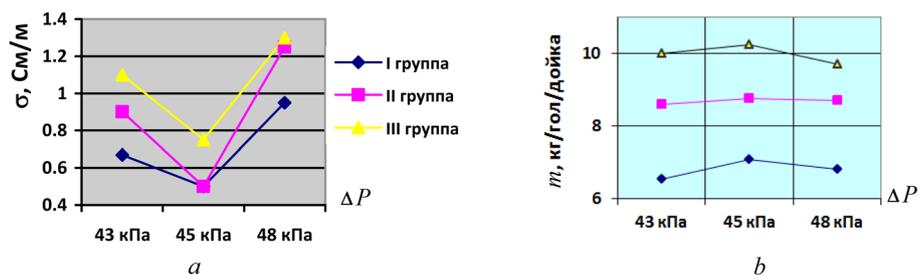


Рис. 3. Зависимость электропроводности молока (а) и разового удоя (b) от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре

Fig. 3. Electrical conductivity of milk (a) and one-time milk (b) as a function of rarefaction pressure in the working vacuum circuit

при машинном доении, равный 50 кПа. Верхняя граница давления была определена эмпирически и, по-видимому, недостаточно точно.

Процесс машинного доения достаточно полно характеризуется двумя параметрами, которые учитывают и молочную продуктивность, и здоровье коров [10]:

1) σ – электропроводность молока (См/м). Это универсальный комплексный параметр, так как он характеризует не только качество молочного сырья (чем выше жирность молока и ниже содержание соматических клеток, тем ниже электропроводность), но, что самое главное, состояние здоровья основного «технологического объекта» – коровы (чем лучше здоровье коровы, тем ниже содержание соматических клеток, и, следовательно, ниже электропроводность молока). Электропроводность молока, которое допускается для употребления в качестве продукта питания, не должна превышать 0,85 См/м;

2) m – разовый удой молока (кг/гол/дойка). Этот параметр количественно характеризует полноту выдаивания животных, которая зависит от физиологического состояния коров, времени суток и времени лактационного периода, а также условий преддоильного содержания.

На рис. 3 приведены зависимости электропроводности молока и разового удоя от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре [14].

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 3, а, подтверждают сделанный ранее вывод: давление разрежения более 48 кПа недопустимо, так как возникающие пульсации автоколебаний «недорасширенного» потока газа приводят к болевым ощущениям и травмированию вымени, что вызывает стресс у животных, приводящий к недопустимому уровню концентрации соматических клеток и, следовательно, к росту электропроводности получаемого молока. Данные, приведенные на рис. 3, б, также подтверждают этот вывод, так как из-за частичной блокировки окситоцина адреналином, появляющегося в крови животных при стрессе, падают удои.

Нижняя допустимая граница давления разрежения обусловлена необходимостью реализации процесса молоковыведения за время действия окситоцина. Если скорость забора молока недостаточна, то это отразится на молочной продуктивности, так как падают и удои, и жирность молока. Из экспериментальных данных, приведенных на рис. 3, а, видно, что при давлении разрежения меньше 43 кПа электропроводность возрастает, что обусловлено в данном случае уменьшением жирности молока. Эту же тенденцию подтверждают данные, приведенные на рис. 3, б: при давлении разрежения менее 43 кПа начинают падать удои.

В [10; 15] приведены результаты измерения зависимости давления разрежения в разработанном рабочем вакуумном контуре от его длины. Анализ экспериментальных данных показал, что на каждом доильном месте градиент давления не превышает величину 0,01 кПа/м, что обусловлено симметричностью и закольцованностью пространственной структуры рабочего вакуумного контура. Другие параметры стабильности давления разрежения в разработанном контуре следующие: временная нестабильность $\pm 0,3$ кПа, амплитуда пульсаций при надевании–съемке доильных аппаратов не более 6 кПа, коэффициент релаксации давления 6 кПа·с. Для сравнения в известном вакуумном контуре соответствующие величины равны: 0,1 кПа/м (в 10 раз больше); ± 2 кПа (в 7 раз больше); 45 кПа (в 7,5 раза больше); 26 кПа·с (в 4,5 раза больше). Полученные параметры стабильности давления разрежения в рабочем вакуумном контуре обеспечивают бес-

стрессовый характер машинного доения, способствуют формированию условного рефлекса молоковыведения и создают условия для разработки физиологически щадящего процесса машинного доения [10].

Выводы.

1. Разработка рабочего вакуумного контура доильных установок с повышенной стабильностью давления является базовым условием инновационной модернизации процесса машинного доения коров. В предложенном рабочем вакуумном контуре стабильность давления (градиент давления в трубопроводах, временная нестабильность, амплитуда пульсаций и коэффициент релаксации давления) достигается за счет:

разработки специальных принципов проектирования пространственной структуры рабочего вакуумного контура (симметричность контура, закольцованность, увеличение объема ресиверов, существенное увеличение количества управляемых воздушных клапанов);

построения балансной математической модели массообменных процессов, связанных с движением воздушных и жидкостных потоков, позволяющей разработать программное обеспечение для автоматизированного управления величиной давления в рабочем вакуумном контуре;

встраивания информационных управляющих систем для автоматизированного управления давлением в рабочем вакуумном контуре, что обеспечило полноконтурный децентрализованный контроль давления, превышение максимальной скорости контролируемого натекания воздуха по сравнению с максимальной скоростью неконтролируемого натекания.

2. В результате теоретического изучения процессов натекания воздуха в рабочий вакуумный контур из атмосферы установлено, что при давлении в контуре $p_{кр} = 53,5$ кПа (давление разрежения 47,8 кПа) происходит переход натекания атмосферного воздуха из дозвукового режима в звуковой, что сопровождается автоколебаниями с высокой амплитудой давления, травмирующими вымя животного, вызывающими болевое ощущение у коров при машинном доении (стресс), что, в свою очередь, приводит к снижению молокоотдачи. Поэтому верхняя граница давления разрежения при машинном доении не должна превышать 47,8 кПа.

3. В ходе экспериментальной проверки установлено, что в диапазоне давления разрежения 38–47 кПа стабильность давления в рабочем вакуумном контуре характеризуется следующими величинами: градиент давления в трубопроводе длиной 42 м составляет 0,01 кПа/м, временная нестабильность $\pm 0,3$ кПа, амплитуда пульсации давления при надевании–съеме доильных стаканов менее 6 кПа, коэффициент релаксации давления менее 6 кПа·с. Для сравнения, в известном рабочем вакуумном контуре аналогичные параметры равны: 0,1 кПа/м, ± 2 кПа, 45 кПа, 20 кПа·с соответственно.

Обоснованные параметры рабочего вакуумного контура с повышенной стабильностью давления, способствуя бесстрессовому характеру доения, создают предпосылки для реализации физиологически щадящего процесса машинного доения.

Список использованных источников

1. Китиков, В. О. Стратегическое направление машинного доения коров / В. О. Китиков, А. Н. Леонов // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2013. – № 4. – С. 91–104.
2. Барановский, М. Повышение качества молока при машинном доении коров / М. Барановский, А. Курак, Т. Агейчик // Гл. зоотехник. – 2006. – № 6. – С. 70–71.
3. Курак, А. С. Повышение эффективности технологии машинного доения / А. С. Курак. – Жодино: НАНБ ин-т животноводства, 2003. – 84 с.
4. Kupczyk, A. Doskonalenie warunków doju mechanicznego: rozprawa habilitacyjna / A. Kupczyk. – Warszawa, 1999. – 115 s.
5. Harms, J. Automatisches Melken – Eine Möglichkeit auch für das Berggebiet / J. Harms, G. Wendl // ART-Schriftenreihe – Ettenhausen, 2010. – N 12. – P. 13–18.
6. Винников, И. К. Динамика стабилизации вакуума в доильных установках / И. К. Винников, С. А. Дмитренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 14–16.
7. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю. А. Цой. – М.: Радуга, 2010. – 424 с.
8. Технологические основы и техническое обеспечение процессов производства молока и говядины / Н. В. Карзовец [и др.]; под общ. ред. В. Н. Дашкова. – Минск: БГАТУ, 2010. – 484 с.
9. Китиков, В. О. Базовые условия развития технологий молочного скотоводства с применением информационных управляющих систем / В. О. Китиков, А. Н. Леонов // Вестн. ВНИИМЖ. Сер. Механизация, автоматизация и технологии в животноводстве. – 2013. – № 3 (11). – С. 52–58.

10. Китиков, В. О. Научные основы создания технологического оборудования и физиологически щадящего процесса машинного доения коров: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / В. О. Китиков. – Минск, 2015. – 60 с.
11. Кокорина, Э. П. Условные рефлексы и продуктивность животных / Э. П. Кокорина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.
12. Лойцянский, А. Г. Механика жидкости и газа / А. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1973. – 340 с.
13. Глазнев, В. Н. Эффект Гартмана. Область существования и частоты колебаний / В. Н. Глазнев, Ю. Г. Коробейников // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42, № 4. – С. 62–67.
14. Барановский, М. В. Оптимизированные параметры вакуумметрического давления при доении коров на установках УДА-24Е / М. В. Барановский, А. С. Курак, В. О. Китиков // Тр. XIV Междунар. симп. по машинному доению сельскохозяйств. животных. – Углич, 2008. – С. 232–239.
15. Китиков, В. О. Анализ эффективности эксплуатации доильных машин с рабочим вакуумом 43 и 48 кПа / В. О. Китиков, И. Н. Таркановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 171–176.

References

1. Kitikov V. O., Leonov A. N. Strategic direction in the development of dairy machine. *Vestsi Natsyional'noi akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, agrarian series], 2013, no. 4, pp. 91–104 (in Russian).
2. Baranovskii M., Kurak A., Ageichik T. *Improving the milk quality during cow machine milking. Glavnyi zootekhnik* [Glavnyi Zootekhnik], 2006, no. 6, pp. 70–71 (in Russian).
3. Kurak A. S. *Improving the machine milking technology efficiency. Zhodino, NASB Institute of Animal Husbandry*, 2003. 84 p. (in Russian).
4. Kupczyk A. *Doskonalenie warunków doju mechanicznego: rozprawa habilitacyjna*. Warszawa, 1999. 115 s. (in Poland).
5. Harms J., Wendl G. Automatisches Melken – Eine Möglichkeit auch für das Berggebiet. *ART-Schriftenreihe – Ettenhausen*, 2010, no. 12, pp. 13–18.
6. Vinnikov I. K., Dmitrenko S. A. Dynamics of vacuum stabilization in milking machines. *Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia sel'skogo khoziaistva* [Mechanization and electrification of agriculture], 2009, no. 3, pp. 14–16 (in Russian).
7. Tsoi Yu. A. *Processes and equipment of milking parlors of cattle farms*. Moscow, Raduga Publ., 2010. 424 p. (in Russian).
8. Kazarovets N. V., Dashkov V. N., Kitikov V. O., Sorokin E. P. *Technological bases and technical support of milk and beef production*. Minsk, Belarusian State Agrarian and Technical University, 2010. 484 p. (in Russian).
9. Kitikov V. O., Leonov A. N. Basic conditions for the development of dairy cattle breeding technologies with the application of information controlling systems. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. Seriya Mekhanizatsiia, avtomatizatsiia i tekhnologii v zhivotnovodstve* [Journal of VNIIMZH], 2013, vol. 11, no. 3, pp. 52–58 (in Russian).
10. Kitikov V. O. *Research fundamentals of designing technological equipment and physiologically sparing process of cow machine milking*. Minsk, 2015. 60 p. (in Russian).
11. Kokerina E. P. *Conditioned reflexes and animal productivity*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 335 p. (in Russian).
12. Loitsyanskii A. G. *Mechanics of liquid and gas*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 340 p. (in Russian).
13. Glaznev V. N., Korobeinikov Yu. G. Hartmann effect. Region of existence and oscillation frequencies. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2001, vol. 42, no. 4, pp. 616–620. doi.org/10.1023/a:1019247529314.
14. Baranovskii M. V., Kurak A. S., Kitikov V. O. Optimized parameters of vacuum pressure during cow milking on devices UDA-24E. *Trudy XIV Mezhdunarodnogo simpoziuma po mashinnomu doeniiu sel'skokhoziaistvennykh zhivotnykh* [Proceedings of the XIV International Symposium on Machine Milking of Farm Animals]. Uglich, 2008, pp. 232–239 (in Russian).
15. Kitikov V. O., Tarkanovskii I. N. Analysis of the efficiency of use of milking machines with a working vacuum of 43 and 48 кПа. *Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia sel'skogo khoziaistva: mezhvedomstvennyi tematischeskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: Interdepartmental thematic collection]. Minsk, 2008, vol. 42, pp. 171–176 (in Russian).

Информация об авторе

Китиков Вадим Олегович – д-р техн. наук, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kitsikau@tut.by.

Information about the author

Kitikov Vadim Olegovich – D. Sc. (Engineering), Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization (1, Knorin Str., 220049, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kitsikau@tut.by.

Для цитирования

Китиков, В. О. Обоснование режимных параметров рабочего вакуумного контура доильных установок для физиологически щадящего процесса машинного доения коров / В. О. Китиков // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 2. – С. 121–128.

For citation

Kitikov V. O. Rationale of vacuum operating circuits regime parameters of milking machines for physiologically sparing process of cows machine milking. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 2, pp. 121–128 (in Russian).