

подвижные части, а также возможно уменьшение затрат электроэнергии за счет использования эжекторного эффекта [3].

Заключение

В Республике Беларусь существует необходимость разработки энергоэффективных технологий утилизации отходов молочного производства. При этом основным направлением должно быть малоотходное и безотходное производство. В нашей стране создаются условия для развития в данном направлении, оказывается поддержка государства при разработке и установке альтернативных источников энергии.

Список использованной литературы

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 января 2011 г. № 26 «Об установлении перечня мероприятий по охране окружающей среды и воспроизводству природных ресурсов, финансируемых за счет средств государственных целевых бюджетных фондов охраны природы.
2. Пояснительная записка проекта «Биогазовая установка на предприятии Вилейский филиал ОАО «Молодечненский молочный комбинат», MANFULA, 2013.
3. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Нелинейная волновая механика и технология. М.: Науч.-издат. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 712 с.

УДК 637.116

**А.Н. Леонов, д.т.н., проф., В.О. Китиков, к.т.н., доцент,
А.А. Дударёнок, студент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОСНОВАНИЕ ДИАПАЗОНА ДАВЛЕНИЯ В РАБОЧЕМ ВАКУУМНОМ КОНТУРЕ ДЛЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ- ЩАДЯЩЕГО ПРОЦЕССА МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

Введение

Республика Беларусь в производстве молока достигла впечатляющих результатов – 3-е место в Европе по производству молока на

душу населения (698 т/чел/год). Однако, несмотря на высокие количественные результаты, уровень удельных затрат в молочной отрасли Беларуси в 2 – 3 превышает уровень стран ЕС, что существенно снижает конкурентоспособность отечественной молочной продукции. Одна из главных причин высокого уровня удельных затрат в отечественной молочной отрасли – несовершенный процесс машинного доения, который, по существу, является физиологически-травмирующим процессом. Результат этого несовершенства – относительно низкие удои (4,7 т/гол/год), низкая жирность (3,2 – 3,4 %) и высокий уровень заболеваемости коров маститом (до 30 %). Для справки генетический потенциал чёрно-пёстрой породы (основная доля коров Беларуси): удои – 8 т/гол/год, жирность – 5 %, уровень заболевания маститом – 6 % [1].

Известно, что для повышения молочной продуктивности коров большое значение имеет селекционная работа, процессы кормления, условия преддоильного содержания, зооветеринарная профилактика. Однако в настоящее время процесс машинного доения играет ключевую роль в повышении молочной продуктивности, так как если процесс машинного доения и доильное оборудование не эффективны, генетический потенциал, кормление и условия преддоильного содержания коров 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 учёта 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, стабильность этого давления, соотношение тактов сосания/сжатия, время преддоильной стимуляции, частота пульсаций доильного аппарата, а также оптимальное соотношение вышеперечисленных факторов. Показано, что инновационно модернизированный процесс, который будем называть физиологически-щадящим процессом машинного доения, должен быть организован на принципах бесстрессовости, комфортности и полноты альвеолярного выдаивания.

Стресс животных на ферме вызывается целым рядом причин, которые в основном обусловлены несовершенством процесса ма-

шинного 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. Среди перечисленных выше факторов для реализации физиологически-щадящего процесса машинного доения большое значение имеет правильный выбор давления 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 ёмкости. 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 учёных, а также сложившуюся практику в молочном животноводстве, можно прийти к выводу, что номинальный уровень давления разрежения должен находиться в диапазоне 38 – 50 кПа [2 – 5]. В связи с тем, что в научно-технической литературе нет чётких 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 коров чёрно-пёстрой породы представляет научный и практический интерес.

Цель работы – обоснование диапазона давления рабочего вакуумного контура, позволяющего реализовать физиологически-щадящий процесс машинного доения.

Результаты и их обсуждение. Можно предположить, что оптимальный режим машинного доения должен в некоторой степени имитировать естественный процесс взаимодействия теленка и коровы. Однако анализ такого взаимодействия показывает, что воспроизведение естественного процесса в полном объёме для про-

мышленного производства молока неприемлемо. Давление разрежения, которое создает телёнок, 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 минут, то максимальная скорость молоковыведения составляет 0,3 кг/мин. Однако такая скорость доения при промышленном производстве молока не обеспечит требуемый уровень рентабельности. Дело в том, что время нахождения окситоцина в крови животных ограничено 4 – 5 минутами [6]. 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 невозможно, то для обеспечения полноты альвеолярного выдаивания, приходится повышать скорость забора молока из вымени за счёт 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 минут), а это отрицательно скажется как на величине удоёв, так на величине жирности, так как только последние порции альвеолярного молока обладают максимально высокой жирностью (15 – 20 %) [6]. Поэтому уровень давления в рабочем вакуумном контуре это своего рода компромисс, между производительностью процесса, молочной продуктивностью и здоровьем животных.

Для уточнения приемлемого диапазона давления рассмотрим процесс натекания газа из атмосферы доильного зала в рабочий вакуумный контур (негерметичные уплотнения узлов, калиброванные отверстия в коллекторе, воздушные клапаны). Сразу же после включения вакуумного насоса разность давления между магистральным вакуум-проводом и атмосферой будет невелика и скорость натекания газа в контур не превосходит нескольких метров в секунду. При дальнейшем медленном понижении давления в кон-

туре скорость натекания газа будет повышаться (рисунок 1).

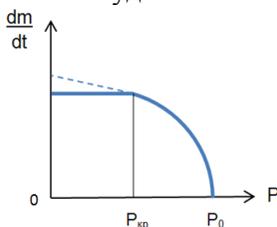


Рисунок 1 – Зависимость скорости натекания воздуха от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре

Создаваемые насосом в вакуумном контуре возмущения давления распространяются со скоростью звука против движения газа в вакуумном контуре. 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. рисунок 1) наступает явление «запирания» потока, несмотря на то, что давление в вакуумном контуре продолжает уменьшаться. Согласно [7] массовый расход воздуха dM/dt (кг/(м²·с)), натекающего в рабочий вакуумный контур, определяется соотношением:

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

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для двух атомного газа (воздух); $\rho_0 = 1,202$ кг/м³ – плотность воздуха при нормальных условиях ($t_0 = 293,15$ К; $p_0 = 101,325$ кПа).

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

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

Из уравнения (2) следует один очень важный вывод: переход натекания воздуха из дозвукового режима в звуковой, который осуществляется при критическом давлении $p_{кр} = 0,5283 \cdot p_0 = 53,530 \text{ кПа}$ (что соответствует давлению разрежения $\Delta p = p_0 - p = 101,325 - 53,530 = 47,795 \approx 47,8 \text{ кПа}$), приводит к возникновению в термодинамически неустойчивом недорасширенном потоке воздуха, имеющего сложную пространственную газодинамическую структуру, автоколебаний, приводящих к возникновению скачков уплотнения и областей разрежения (эффект Гартмана [8]). Пульсации давления газа в вакуумном контуре вызывают болевое ощущение и травмирование вымени при машинном доении, что вызывает стресс у животных со всеми вытекающими отсюда последствиями: выделение в кровь адреналина, блокирующего окситацин, 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 $p > 53,5 \text{ кПа}$, что соответствует давлению разрежения $\Delta p < 47,8 \text{ кПа}$. По-видимому, этим, можно объяснить тот факт, что на практике, еще в начала XX века, был уставлен безопасный интервал давления разрежения при машинном доении, равный 38 – 50 кПа [2, 3]. Верхняя граница давления разрежения была определена эмпирически и, по-видимому, недостаточно точно.

Процесс машинного доения достаточно полно характеризуется двумя параметрами, которые характеризуют и молочную продуктивность, и здоровье коров:

1) σ – электропроводимость 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 электропроводимость), но, что самое главное, состояние здоровья основного «технологического объекта» – коровы (чем лучше здоровье коровы, тем ниже содержание соматических клеток, и, следовательно, ниже электропроводимость молока). Электропроводимость 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 и индивидуальных особенностей коров, времени суток и времени лактационного периода, а также условий преддоильного содержания.

На рисунках 2 и 3 приведены зависимости электропроводимости молока и разового удоя от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре.

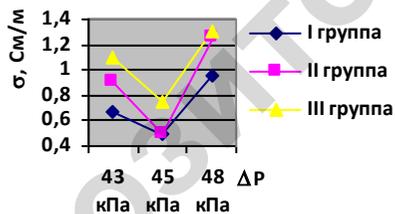


Рисунок 2 – Зависимость электропроводимости молока от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре

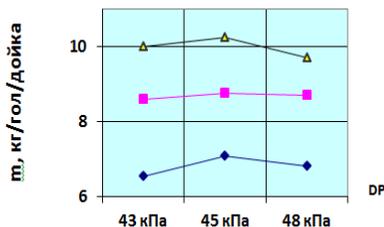


Рисунок 3. – Зависимость разового удоя от давления разрежения в рабочем вакуумном контуре

Экспериментальные данные, приведенные на рисунке 2, 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, росту электропроводимости получаемого молока. Данные, приведенные на рисунке 3, также подтверждают этот вывод, так как из-за частичной блокировки окситоцина адреналином, падают удои.

Нижняя допустимая граница давления разрежения, обусловлена необходимостью проведения процесса молоковыведения за время действия окситоцина. Если скорость забора молока недостаточна, то это отразится на молочной продуктивности: падают и удои, и жирность молока. Из экспериментальных данных, приведенных на рисунках 2, видно, что при давлении разрежения меньше 43 кПа, электропроводимость возрастает, что обусловлено в данном случае уменьшением жирности молока. Эту же тенденцию подтверждают данные, приведенные на рисунке 3: при давлении разрежения менее 43 кПа начинают падать удои.

Заключение

В ходе теоретических и экспериментальных исследований установлено: 1) при давлении разрежения в рабочем вакуумном контуре более 48 кПа возникает гидродинамического травмирования вымени, в результате чего происходит резкое увеличение соматических клеток в молоке; 2) при давлении разрежения менее 43 кПа уменьшается скорость молоковыведения, в результате чего не удаётся реализовать полноту альвеолярного выдаивания за время доения, и, как следствие этого возрастание электропроводимости молока (падение жирности) и падения удоев. Таким образом, для обеспечения физиологически-щадящего процесса машинного доения один из основных факторов – давление разрежения в рабочем вакуумном контуре должен находиться в диапазоне 43 – 47 кПа. (Предлагаемое давление разрежения 47 вместо 47,8 кПа, продиктовано требованием повышения надежности процесса машинного доения, так как временная стабильность давления в рабочем вакуумном контуре равна $\pm 0,3$ кПа).

Список использованной литературы

1. Китиков, В.О. Стратегическое направление машинного доения коров / В.О. Китиков, А.Н. Леонов // Вес. Нац. акад. наук. Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2013. – № 4. – С. 91 – 104.
2. Барановский, М.В. Повышение качества молока при машин-

ном доения коров / М.В. Барановский [и др.] // Гл. зоотехник. – 2006. – № 6. – С. 70 – 71.

3. Курак, А.С. Повышение эффективности технологии машинного доения: монография / А.С. Курак. – Брест: БрГУ им. А.С. Пушкина, 2003. – 84 с.

4. Aljumaah, R.S. Influence of introducing machine milking on bio-thermal parameters of lactating camels / R.S. Aljumaah, E.M. Samara, . Ayadi // Italian Journal of Animal Science; 11 (4). – Pavia : PAGED Publications, 2012. – P. 73.

5. Harms, J. Automatisches Melken – Eine Moglichkeit auch fur das Berggebiet / J. Harms; G. Wendl // ART-Schriftenreihe. – Ettenhausen, 2010. – № 12. – P. 13–18.

6. Кокорина, Э.П. Условные рефлексy и продуктивность животных. / Э.П. Кокорина.– М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.

7. Лойцянский, А.Г. Механика жидкости и газа / А.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1973. – 340 с.

8. Глазнёв, В.Н. Эффект Гартмана. Область существования и частоты колебаний / В.Н. Глазнёв, Ю.Г. Коробейников // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42. – № 4. – С. 62 – 67.

УДК 631.22.018.1

**В.О. Китиков, к.т.н., доцент, Д.С. Праженик, ассистент,
Н.А. Деменок, ст. преподаватель**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет» г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЦЕНТРОБЕЖНО-ПОГРУЖНОГО НАСОСА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

Введение

Для транспортирования бесподстилочного навоза используют различные по конструкции насосы. Насосы для транспортирования однородной массы навоза бывают погружные с измельчающим механизмом для жидкого навоза, центробежные с измельчающим механизмом для жидкого навоза, центробежные насосы с мультипликатором оборотов и приводом от вала отбора мощности (ВОМ)