

# ИМПУЛЬСНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ НИЗКОВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ

М.В. КОЛОНЧУК (БГПА)

*The milking machines parameters - volume of vacuum system, pump speed, working pressure, size of air bleed and vacuum fluctuations - are considered*

Вакуумные технологические процессы нашли применение в самых разнообразных областях техники. Отдельные вакуумные процессы требуют стабилизации давления. Например, увеличение долговечности ряда газоразрядных приборов связано с решением проблемы компенсации электрического поглощения газа в процессе работы прибора. В некоторых зарубежных и отечественных работах [1] предложено решение этой проблемы путем подачи в вакуумный объем прибора газа из дополнительного объема, основанное на использовании контролируемого натекания. Улучшение стабилизации давления достигается также путем заполнения дополнительного объема адсорбентом, что равносильно многократному увеличению этого объема [2]. Давление считается стабилизированным, если при заданных проводимости соединительного элемента, объемах и давлениях в рабочей камере и камере напуска, эффективной быстроте откачки рабочей камеры изменение давления за требуемое время не превосходит заданной величины [2].

Стабильность режима доения коров в сельскохозяйственном производстве также определяется амплитудой колебания вакуумметрического давления и продолжительностью его восстановления. Колебание вакуумметрического давления не должно превышать 3,0 кПа, а время его восстановления - 3 секунд [3]. Доение коров стабилизированным вакуумом повышает

ет разовый удой на 1,9%, содержание жира в молоке - на 0,05%, скорость молоковыведения - на 0,16 кг/мин, полноту выдаивания коров - на 23,1% [4]. Полнота выдаивания позволяет избежать заболеваний коров маститом и сокращения их продуктивности. Однако в процессе эксплуатации вакуумные режимы большинства доильных установок характеризуются отклонениями значений параметров от допустимых значений: колебания вакуума достигают около 15 кПа, а их продолжительность может превышать 60 с. Интенсивность воздушных импульсов высокая (табл. 1).

## 1. Характеристика вакуумной системы доильной установки на 100 коров

Параметр	Единица измерения	Значение
1. Количество воздушных импульсов при подключении доильных стаканов	ед.	400
2. Количество воздушных импульсов при снятии доильных аппаратов	ед.	100
3. Общее количество импульсов	ед.	500
4. Продолжительность доения стада	секунд	5000
5. Средний интервал между воздушными импульсами	секунд	10
6. Минимальная продолжительность воздушного импульса	секунд	1,0
7. Объем вакуумпроводов (длина 144 м, диаметр условного прохода 25 мм)	$\frac{3}{M}$	0.071
8. Объем молокопроводов (длина 170 м, диаметр условного прохода 38 мм)	$\frac{3}{M}$	0.192
9. Объем магистрального вакуумпровода (длина 20 м, диаметр условного прохода 40 мм)	$\frac{3}{M}$	0.025
10. Объем вакуумного баллона	$\frac{3}{M}$	0.015
11. Быстрота действия вакуумного насоса	$\frac{3}{M}$ /с	0.0166
12. Отношение объема вакуумной системы к быстроте действия вакуумного насоса – постоянная времени вакуумной системы	секунды	18

Однако даже кратковременные колебания вакуума изменяют физиологическое состояние коровы, которое не восстанавливается в течение дойки. Флуктуации вакуума возникают при надевании и

**2. Изменение давления в вакуумной системе доильной установки  
(продолжительность воздушного импульса - 1 секунда, диаметр отверстия - 10 мм)**

Константа времени системы	Время, секунды									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	63220	23250	8550	3140	1160	420	150	60	20	5
10	9520	8610	7790	7050	6380	5770	5220	4720	4220	3870
20	4870	4630	4400	4190	3990	3790	3600	3430	3260	3100
25	3930	3775	3630	3485	3350	3220	3090	2970	2850	2740
33	2960	2870	2790	2705	2630	2550	2470	2400	2330	2260
50	1990	1950	1910	1870	1830	1800	1760	1730	1690	1660
100	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910
1000	100	99,9	99,8	99,7	99,6	99,5	99,4	99,3	99,2	99,1

снятии доильных стаканов, сбивании коровами доильных аппаратов, падении производительности вакуумных насосов [5]. Временная дестабилизация вакуумного режима особенно заметна в вакуумных системах без запаса производительности, а также в системах на базе магистральных труб малого диаметра. Такое положение свидетельствует, что флуктуация вакуума определяется характером натекания воздуха и его откачки из вакуумной системы. В системе происходит повышение давления вследствие проникновения воздуха при надевании и снятии доильных аппаратов, а затем быстрое его снижение вследствие процесса откачки. Характер роста и снижения давления зависит от скорости откачки, откачиваемого объема, длительности и величины воздушного импульса.

Целью настоящей работы явилось проведение математического анализа характера изменения давления в вакуумпроводных системах при отсутствии запаса производительности вакуумного насоса, определенном потоке натекания воздуха и различных геометрических размерах вакуумпроводов и комплектующих элементов.

Если поток воздуха, проходящего через течь в систему за время  $dt$ , составляет  $Q$ , а количество откаченного воздуха равно  $pSdt$ , то рост давления описывается уравнением [6]:

$$Vdp = (Q - Sp)dt, \quad (1)$$

где  $V$  - объем вакуумной системы;  
 $p$  - давление;  
 $Q$  - поток воздуха;  
 $S$  - быстрота действия насоса.

Разделяя переменные, получим

$$dp / ((Q/S) - p) = (S/V)dt. \quad (2)$$

Интегрируя уравнение (2), приходим к виду

$$\ln((Q/S) - p) - \ln C = (-S/V)t. \quad (3)$$

Представим (3) в виде

$$(Q/S) - p = C \exp[(-S/V)t]. \quad (4)$$

Подставив начальные условия  $t=0; p=0$  в уравнение (4), получим  $C=Q/S$ .

Внеся это значение в уравнение (1), приходим к выводу, что в этих условиях рост давления происходит согласно формуле

$$p = (Q/S)[1 - \exp(-St/V)]$$

или при  $t=t_1$

$$p_1 = (Q/S)[1 - \exp(-t_1/\tau_0)], \quad (5)$$

где  $\tau_0$  - константа времени вакуумной системы доильной установки.

Снижение давления при откачке воздуха из вакуумной системы отображается другой зависимостью, которая выявляется из системы уравнений воздушного потока [7]:

$$\begin{cases} Q = pS \\ Q = -d(pV)/dt = -Vdp/dt. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда  $pS = -Vdp/dt,$

откуда  $dp/p = (-S/V)dt$

или  $dp/p = -dt/\tau_0,$

и  $p = p_1 \cdot \exp(-t_1/\tau_0), \quad (7)$

где  $p_1$  - давление при  $t=t_1$ .

Так как в определенный момент  $t=t_1$  приток воздуха прекращается, давление начинает падать в соответствии с уравнением [8]:

$$p = (Q/S)[1 - \exp(-t_1/\tau_0)] \exp[-(t-t_1)/\tau_0]. \quad (8)$$

Величина натекания определяется пропускной способностью отверстия и при давлении 50 кПа воздушный поток составит [7]:

$$Q = Q_0 F p = 1660 \text{ м}^3 \text{Па/с},$$

где  $Q_0$  - пропускная способность отверстия ((420 м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>),

F - площадь отверстия (диаметр 0,01 м),

P - давление всасывания (50 кПа)

Быстрота действия стандартного насоса для доения 100 коров составляет 0,0166 м<sup>3</sup>/с (60 м<sup>3</sup>/ч). Поэтому отношение потока натекания к быстроте действия насоса (Q/S) составляет 105 Па.

Влияние постоянной времени вакуумной системы на форму импульса давления в Паскалях отражены данными табл. 2. Характеристики импульса давления приведены для разных значений постоянной времени вакуумной системы. Как видно из таблицы, для чрезмерно больших значений постоянной времени импульс становится малочувствительным. Вакуумная система слабо реагирует на воздушный импульс при константе времени равной 33. Применительно к отечественным доильным установкам эта цифра означает, что вакуумная система объемом 0,5 м<sup>3</sup> предотвращает повышение давления в системе более 3 кПа при продолжительности воздушного импульса до 1 секунды. Малый объем вакуумной системы (V) характеризуется значительным ростом амплитуды колебания (более 60 кПа). Такое колебание вакуумметрического давления неизбежно вызовет спадание доильных аппаратов. Как видно из данных таблицы 2, скорость разгерметизации низковакуумной системы доильной установки превышает скорость вакууммирования.

Объем вакуумной системы доильной установки на 100 голов составляет 0,3 м<sup>3</sup> (таблица 1), а быстрота откачки насоса - 0,016 м<sup>3</sup>/с. Поэтому постоянная времени вакуумной системы составляет порядка 20. Замена вакуумпроводов диаметром 25 мм на трубы диаметром 40 мм увеличивает объем вакуумной системы на 0,11 м<sup>3</sup>. Исполнение магистрального вакуумпровода трубами диаметром 50; 80 или 100 мм повышает объем вакуумной системы на

0,014, 0,075 и 0,090 м<sup>3</sup> соответственно. Применение труб увеличенного диаметра позволяет довести объем вакуумной системы до 0,5 м<sup>3</sup> и повысить постоянную времени вакуумной системы до 30 и ее импульсоустойчивость.

Эффективным направлением повышения импульсоустойчивости вакуумной системы является применение вакуумных молокосорборников и баллонов больших объемов. Объем вакуумной системы доильной установки должен являться ее паспортной характеристикой. Увеличенный объем вакуумной системы стабилизирует режим доения при износе вакуумных насосов.

## Литература

1. Мешковский И.К., Сиваков Е.П. Расчет давления в работающем газоразрядном приборе при непрерывном натекании газа в вакуумный объем. - "Электронная техника. Сер. 4. Электровacuумные и газоразрядные приборы", 1972, вып. 8, с.3-6
2. Розанов Л.Н. Вакуумные машины и установки. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1975.
3. ГОСТ 11730-79. Установки доильные. Общие технические условия.
4. Курак А.С. Влияние колебаний вакуума при машинном доении на показатели молоковыведения и продуктивности коров. - Агропанорама, №3, 2000, с. 6-7.
5. Админ Е.И., Саврон В.П. Проблемы машинного доения коров. - Животноводство, № 4, 1978, с.75.
6. Основы вакуумной техники: Учебник для техникумов /А.И.Пипко, В.Я.Плисковский, Б.И.Королев, В.И.Кузнецов.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоиздат, 1981. 432 с, ил./
7. Шумский К.П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения. М.: Машиностроение, 1974. - 576 с.
8. Грошковский Я. Техника вакуума-М.: Изд-во иностр. литературы, 1975.-622 с.

## ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОР



## ЗАО "БелТЭН"

Минский р-он, пос. Кунцевщина,  
Т/ф (017) 286-77-67, 286-77-53.  
E-mail: belten@open.by