

Введение

Доильные установки проектируются с учетом использования определенного (номинального) вакуумметрического давления. Установка будет работать в заданном режиме, если поддерживается номинальный вакуум в системе. При изменении вакуумметрического давления в системе режим работы доильной установки может выйти за пределы допустимого. При этом происходит отказ системы, хотя она будет продолжать доить, а доильные аппараты не обязательно будут спадать с вымени. В связи с этим поиск путей создания промышленных технологий получения молока приводит к необходимости повышения стабильности вакуумметрического давления в молоко-вакуумных системах.

Объекты и метод исследований

Объектом исследований является доильная установка типа «Елочка 2x12». При исследовании применялся расчетный метод.

Результат исследований

Основными конструктивными параметрами, определяющими стабильность вакуума в системе, являются диаметры труб вакуум- и молокопроводов, производительность вакуумного насоса и качественное регулирование величины вакуума. Помимо конструктивных параметров, влияние на величину вакуума в системе оказывают эксплуатационные факторы – подсос воздуха, засорение трубопроводов.

Трубы вакуум-провода рассчитываются в зависимости от длины вакуумной магистрали, диаметра труб и количества доильных аппаратов в соответствии с международным стандартом ИСО 5707 [1]. Перепад вакуумметрического давления между вакуумной установкой и вакуумным регулятором, а также между вакуум-регулятором и любой точкой в вакуум-проводе (доильный вакуум) не должен превышать 2,5 кПа. На основании этих данных и рассчитывается диаметр вакуум-провода.

Начальные потери вакуума для участка вакуумной линии доильных машин длиной l (например, для 12 доильных аппаратов) складываются из потерь по длине $\Delta P_{тр}$ и местных потерь ΔP_m [2].

$$\Delta P_n = \Delta P_{тр} + m\Delta P_m; \quad (1)$$

$$\Delta P_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \rho; \quad (2)$$

$$\Delta P_m = \xi \cdot \frac{c^2}{2} \rho, \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления по длине;

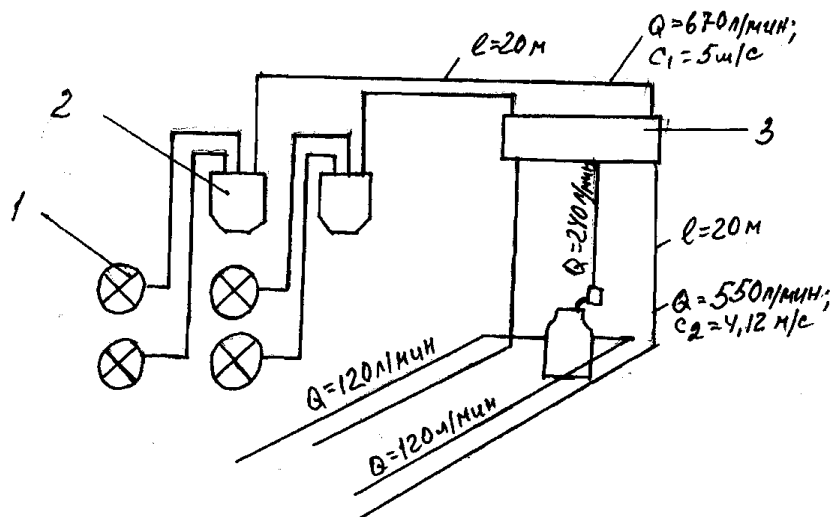
ξ – коэффициент местных гидравлических сопротивлений;

l – длина расчетного участка вакуумной линии, м;
 d – диаметр трубопровода, м;
 c – средняя скорость воздуха в трубе, м/с;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 m – число местных гидравлических сопротивлений.

Для труб, не бывших в употреблении, λ определяют по таблицам ($\lambda = 0,046$).

Скорость воздушного потока c определим на основании следующих данных. В соответствии с ИСО 5707 производительность вакуумной установки на 12 доильных аппаратов составляет $Q = 1040$ л/мин. Очевидно, расход воздуха по линейному вакуум-проводу будет меньше этого значения на величину запаса производительности (370 л/мин) и расхода воздуха коллектором (10 л/мин x 12 аппаратов = 120 л/мин). Тогда расход воздуха по линейному вакуум-проводу составит $Q = 1040 - 370 - 120 = 550$ л/мин.

Вакуум-провод на всем протяжении имеет 2 участка длиной по 20 м и диаметром $d = 0,05$ м (рисунок 22). Первый участок магистральный, имеет расход воздуха $Q_1 = 1040 - 370 = 670$ л/мин, или $0,011$ м³/с.



1 – вакуумный насос; 2 – вакуумный баллон; 3 – ресивер

Рисунок 22 – Схема прокладки вакуум-провода доильной установки «Елочка» 2x12

Скорость воздушного потока в магистральных трубопроводах диаметром 53 мм составит:

$$c_1 = \frac{Q}{F} = \frac{0,011}{0,0265^2 \cdot 3,14} = 5,0 \text{ м/с.} \quad (4)$$

Скорость воздушного потока в линейном трубопроводе

$$c_2 = \frac{Q}{F} = \frac{0,0091}{0,0265^2 \cdot 3,14} = 4,12 \text{ м/с,} \quad (5)$$

где $Q = 1040 - 370 - 120 = 550$ л/мин, или $0,0091$ м³/с – потребление воздуха 12 доильными аппаратами.

$$\text{Тогда } \Delta P_{1mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \rho = 0,046 \frac{20}{0,053} \cdot \frac{5^2}{2} \cdot 0,68 = 0,147 \text{ кН/м}^2;$$

$$\Delta P_{2mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \rho = 0,046 \frac{20}{0,053} \cdot \frac{4,12^2}{2} \cdot 0,68 = 0,100 \text{ кН/м}^2;$$

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{1mp} + \Delta P_{2mp} = 0,147 + 0,100 = 0,247 \text{ кН/м}^2 \text{ (2,47 кПа)}.$$

Местные потери

$$\Delta P_{ml} = m \xi \frac{c^2}{2} \rho = 5 \cdot 1 \frac{5^2}{2} \cdot 0,68 = 0,04 \text{ кН/м}. \quad (6)$$

Общие потери давления $\Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_{ml} = 2,47 + 0,0004 = 2,47 \text{ кПа}$, что допустимо по ИСО 5707 (не более 2,5 кПа).

Вместе с тем в вакуум-проводе со временем происходит накопление загрязнений, образование коррозии, что ведет к значительным потерям вакуума. Расчетная формула увеличения потерь вакуума в вакуумной линии [2]:

$$\frac{P_k}{P_n} = 1 + 0,1kt^n, \quad (7)$$

где P_n – величина вакуума в вакуум-проводе после чистки или в новых, не бывших в употреблении, трубах, Н/м^2 ;

P_k – величина абсолютного давления того же сечения через t месяцев эксплуатации, Н/м^2 ;

k и n – коэффициенты, зависящие от сезона и продолжительности эксплуатации (таблица 14).

Таблица 14 – Зависимость коэффициентов k и n от сезона и продолжительности эксплуатации

Сезон	Продолжительность эксплуатации, t , мес.	Коэффициенты	
		k	n
летний	1	0,9	0,5
	2	0,98	
	3	0,98	
весенне-осенний	1	2,0	0,45
	2	2,25	
	3	2,44	
зимний	1	3,6	0,35
	2	4,44	
	3	4,9	

Подставляя в формулу самые неблагоприятные значения таблицы, получим, что увеличение потерь вакуума в вакуум-проводе без его чистки в течение 3 месяцев может составить до 0,7 от нового, то есть потери вакуума в вакуум-проводе составят $\Delta P = 2,3 + 0,7 \cdot 2,3 = 3,9 \text{ кПа}$.

$$\frac{D_e}{D_i} = 1 + 0,1 \cdot 4,9 \cdot 3^{0,35}.$$

В случае если вакуум-провод не подвергать чистке более длительное время, увеличение потерь вакуума может составить более значительную цифру.

Внутренний диаметр молокопровода выбирают с таким расчетом, чтобы перепад давления в молокопроводе не превышал 3 *кПа* при работе всех доильных аппаратов [1]. Исходя из этого, определим минимальный диаметр молокопровода на 12 доильных аппаратов установки «Елочка». Длина молокопровода 20 м. Падение вакуума в молокопроводе определяют по формуле [3]:

$$\Delta h = \frac{8\lambda G_m^2 n^2}{\pi^2 g \rho (1 - \beta) D^5}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент сопротивления трению. Для требуемого режима движения газо-жидкостной смеси в молокопроводе и при числе Рейнольдса $Re = 10000$ для технически гладких труб молокопровода $\lambda = 0,0315$ [4];

l – длина рабочего участка молокопровода, $l = 20$ м;

G_m – весовой расход молока на один доильный аппарат, $G_m = 0,05$ кг/с;

n – количество доильных аппаратов на одной рабочей ветви молокопровода, $n = 12$;

ρ – плотность молока, $\rho = 1027$ кг/м³;

D – диаметр молокопровода, м;

β – коэффициент газосодержания.

$$\beta = \frac{V_{mv} P_p / P_{атм}}{V_{mv} P_p / P_{атм} + V_{mm}}, \quad (9)$$

где V_{mv} – объемный расход воздуха, отнесенный к одному доильному аппарату. В соответствии с ИСО 5707 объемный расход воздуха одним доильным аппаратом составляет 10 л/мин, или 0,00017 м³/с. Следовательно, $V_{mv} = 0,00017$ м³/с;

V_{mm} – объемный расход молока на один доильный аппарат. В соответствии с ИСО 5707 $V_{mm} = 0,00005$ м³/с;

$P_p/P_{атм}$ – отношение рабочего давления к атмосферному, $P_p/P_{атм} = 0,5$.

Коэффициент газосодержания

$$\beta = \frac{V_{mv} P_p / P_{атм}}{V_{mv} P_p / P_{атм} + V_{mm}} = \frac{0,00017 \cdot 0,5}{0,00017 \cdot 0,5 + 0,00005} = 0,63.$$

Падение вакуума в молокопроводе на рабочем участке при работе двенадцати доильных аппаратов

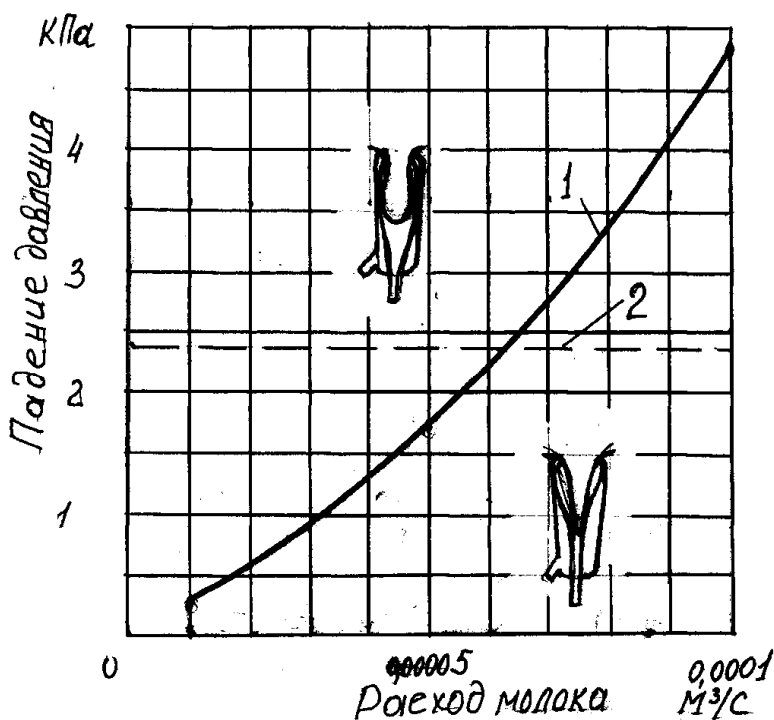
$$\Delta h = \frac{8\lambda G_m^2 n^2}{\pi^2 g \rho (1 - \beta) D^5} = \frac{8 \cdot 0,0315 \cdot 20 \cdot 0,05^2 \cdot 12^2}{3,14^2 \cdot 9,8 \cdot 1027 (1 - 0,63) \cdot D^5} = \frac{0,000049}{D^5}.$$

При $D = 0,05$ м $\Delta h = 163$ кг/м³, или 1,63 *кПа*, что соответствует требованиям нормативной документации.

При конкретных стабильных условиях падение давления по длине молокопровода находится в пределах, допустимых нормативными документами (ИСО 5707, ГОСТ 28545–90). Однако необходимо отметить, что падение давления по длине молокопровода, а следовательно, и режим работы сосковой резины в значительной степени зависят от количества молока, движущегося по нему. Количество молока в молокопроводе при доении зависит от продуктивности

животных, времени, прошедшего от начала доения коровы, и от других факторов и находится в пределах от нуля до некоторого максимума. Подставляя в формулы для β и Δh различные значения объемного и весового расхода молока, мы получим и различные значения Δh . Зависимость падения давления от расхода молока в молокопроводе при постоянных остальных значениях, представленных в указанных формулах, приведена на рисунке 23.

Как видно из рисунка 2, в правильно спроектированной доильной установке режим работы сосковой резины может иметь непостоянное значение. И на протяжении доения, например, тугодойной коровы, резина может подвергаться деформации в сторону ее баллонизации, когда потери вакуума под соском значительны (верхняя половина рисунка 23), или в сторону соска (нижняя половина рисунка 23). В первом случае трение между резиной и соском уменьшается, стакан наползает на сосок и пережимает молочный канал, а при больших перепадах давления происходит повреждение соска. Во втором случае резина при переходе к такту сжатия бьет по соску и загоняет часть выдоенного молока обратно в сосок, что также имеет негативные последствия.



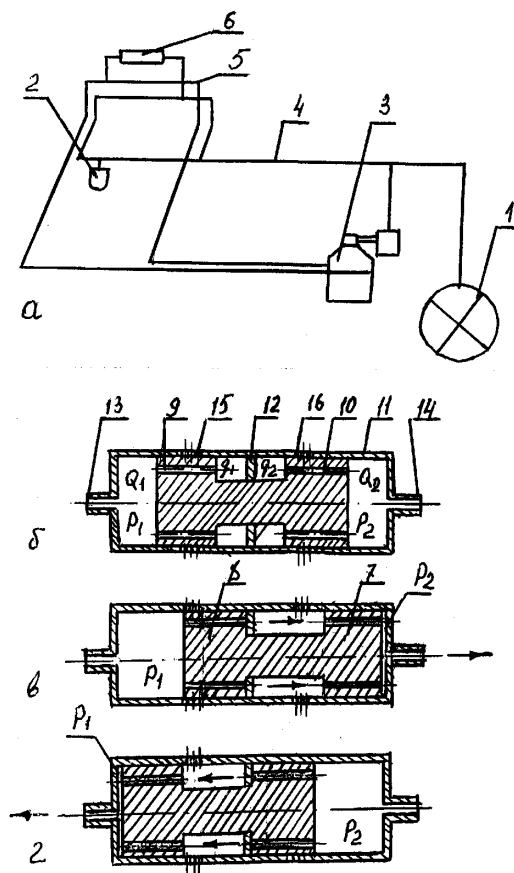
1 – в молокопроводе; 2 – в вакуум-проводе

Рисунок 23 – Падение давления в молоко- и вакуум-проводе в зависимости от скорости доения

На перепады давлений в вакуум- и молокопроводе в большой степени влияют и эксплуатационные факторы: подсосы воздуха в систему, несоблюдение диаметров вакуум-провода, неправильное подсоединение вакуумных насосов, несоблюдение диаметров отверстий в вакуум-проводе под молочно-вакуумные краны и др.

Для устранения перепадов давлений между вакуум-проводом и молокопроводом необходимо их соединить. Обеспечение одинакового вакуума в ваку-

ум- и молокопроводе с помощью соединения их трубой или шлангом не представляется возможным по причине попадания молока из молокопровода в вакуум-провод и загрязнения последнего, если разрежение выше в вакуум-проводе, и наоборот, вследствие попадания грязного воздуха из вакуум-провода в молокопровод и загрязнения молока, если разрежение выше в молокопроводе.



а – общий вид доильной установки; б-г – выравниватель давления
 1 – вакуум-насос; 2 – вакуум-регулятор; 3 – молокоприемник; 4 – вакуум-провод;
 5 – молокопровод; 6 – выравниватель давления; 7, 8 – поршень;
 9, 10 – продольное отверстие; 11 – цилиндр; 12 – перегородка; 13, 14 – штуцер;
 15, 16 – калиброванные отверстия

Рисунок 24 – Выравниватель давления в вакуум- и молокопроводе

Для выравнивания давления в вакуум- и молокопроводе нами предложен специальный выравниватель давления. Он состоит (рисунок 24) из поршня, выполненного из двух половин 7 и 8, имеющих сквозные продольные отверстия 9 и 10, и цилиндра 11, содержащего в средней части разделительную перегородку 12, штуцеры 13 и 14 для подсоединения к вакуум- и молокопроводу и два ряда калиброванных отверстий 15 и 16 для поступления воздуха в вакуум- и молокопровод при нахождении поршня в крайних положениях.

Выравниватель давления работает следующим образом. При включении вакуум-насоса и одинаковом разрежении в вакуум- и молокопроводе ($P_1 = P_2$) силы Q_1 и Q_2 , действующие на поршни 1 и 2, будут также одинаковы. Поршни будут расположены в некотором среднем нейтральном положении (рисунок 24б).

Если по ряду причин разрежение, например, в вакуум-проводе будет выше ($P_2 > P_1$), то сила Q_2 , действующая на поршень, будет больше силы Q_1 . При этом

поршень переместится вправо (рисунок 24в), откроет одно или несколько калиброванных отверстий 16. Воздух через эти отверстия и отверстие 10 будет поступать в вакуум-провод, понижая в нем разрежение до соответствующего уровня вакуума в молокопроводе. Чем больше поршень передвигается вправо, тем больше отверстий он открывает, тем большее количество воздуха будет поступать в вакуум-провод. Перегородка 12 препятствует поступлению воздуха из одной половины цилиндра в другую. При поступлении воздуха в вакуум-провод через выравниватель давления вакуум-регулятор, соответственно, снизит поступление воздуха в вакуум-провод через себя, обеспечивая в нем номинальный уровень вакуума.

Если разрежение будет выше в молокопроводе (рисунок 24г), то подсос воздуха по аналогии обеспечивается уже в молокопроводе, и разрежение в молокопроводе и вакуум-проводе выравнивается. Таким образом, в вакуум- и молокопроводе постоянно будет поддерживаться один уровень разрежения, что способствует повышению эффективности работы доильной установки и безопасному воздействию на животных.

Сила $q_1 < Q_1$ и сила $q_2 < Q_2$, так как они действуют на различные площади поршня.

Более стабильный вакуум в доильных установках можно обеспечить с помощью электронных устройств, которые будут контролировать величину вакуума в вакуум-проводе и молокопроводе и при необходимости давать команду исполнительным механизмам (например, выравнивателю давления) для его стабилизации.

Заключение

1. В результате исследований установлено, что перепады давлений в вакуум- и молокопроводе в течение одного доения непостоянны. Давление в молокопроводе в процессе доения может быть выше или ниже давления в вакуум-проводе. Величина колебаний находится в пределах от +2 до -2 кПа.

2. Для стабилизации вакуумметрического давления в вакуум- и молокопроводе предложено устройство – выравниватель вакуумметрического давления. Предложенное устройство позволяет обеспечить поддержание стабильного вакуума, независимо от условий эксплуатации доильной установки.

24.06.10.

Литература

1. Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика: международный стандарт ИСО 5707-83. – М.: Международная организация по стандартизации, 1987. – 17 с.
2. Дамшиц, Н.А. Методические рекомендации по расчету и конструированию вакуум-проводов доильных машин и техническому уходу за ними / Н.А. Дамшиц, В.П. Ларин. – М.: ВИЭСХ, 1973. – 116 с.
3. Карташов, Л.П. Размеры молокопроводов доильных установок / Л.П. Карташов, М.К. Базаров // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 3.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 464 с.