

где $\cos\varphi$ - коэффициент мощности ($\cos\varphi = 0,96$).

Из приведенных данных следует, что МСЛ с ТЭД мощностью 1,3 кВт развивает на второй передаче ($i_{TP2} = 78,8$) тяговое усилие $P_{кр.н} = 1,625$ кН при $V_p = 0,54$ м/с; $N_{кр} = 0,88$ кВт; $\eta_T = 0,712$; $\eta_{общ} = 0,689$. При этом ТЭД работает при значениях $N_{ТЭД}$, не превышающих номинальное. Для сравнения тяговый КПД мотоблока не превышает 0,55, а КПД его двигателя меньше 0,3. Общий КПД мотоблока 0,165.

Таким образом, КПД МСЛ превышает аналогичный показатель мотоблока при малых массе, стоимости, усилиях на управление и удельном расходе энергии. Тяговое усилие МСЛ составляет 1,5...2,0 кН, мотоблока 1 кН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В.В и др. Мини-тракторы. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1987.-272 с.
2. Вопросы механизации растениеводства на приусадебных участках. /О.Л Миранович // Материалы международной научно-практической конференции "Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники". Ч-1.- Горки. БСХА, 1998. - 184с.: ил.
3. Иванов М.И. Детали машин. - М.: Высшая школа, 1991.- 383с.: ил.
- Сильченко А.А. Обоснование параметров, определяющих тягово-энергетические свойства электрифицированного блока тягового класса 1 кН для механизации растениеводства в приусадебных и тепличных хозяйствах. Дис. ... к-та техн. наук: 05.20.01. -Мн.: БАТУ, 1999.-178с.

УДК 621.521:664

ТЕСТИРОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

М.В. КОЛОНЧУК (БНТУ)

The article describes the relationship between technical state of vacuum milk equipment and it's extreme parameters - pressure, air bleed and pump speed.

Возможность эксплуатации доильных установок обуславливается техническим состоянием вакуумных насосов, герметичностью и засоренностью вакуумных систем. Герметичность нарушается при увеличении мест подсоса воздуха. Воздух просачивается через молочно-вакуумные краны и соединительные муфты молочных трубопроводов, трещины мембран, посадочные места клапанов спуска конденсата. В зимнее время под воздействием отрицательных температур воздуха пластмассовые трубы молочных трубопроводов в конце кормовых проездов остывают и сжимаются сильнее, чем резиновые муфты. Это приводит к большим зазорам в стыке муфт и значительному подсосу воздуха через них. В процессе эксплуатации зазоры между деталями вакуумного насоса увеличиваются. Интенсификация перетекания воздуха из нагнетательной полости во всасывающую снижает производительность вакуумного насоса. По этим причинам рабочий вакуум на эксплуатируемых доильных установках составляет зачастую 80% от требуемой величины - 50 кПа. Доеение коров низким вакуумом снижает на 3...25% надой молока, вынуждает устанавливать дополнительные вакуумные насосы и повышать затраты электрической энергии. Экстренность наладки вакуумной системы рекомендуется определять по времени повышения давления при тестировании [1]:

$$\Delta t = V \Delta p / U,$$

где Δt - время повышения давления; V - объем вакуумной системы; U - скорость просачивания воздуха; Δp - разность давлений. Просачивание воздуха в вакуумную систему доильной установки считается значительным,

если падение вакуума в молочном трубопроводе превышает 14 кПа за 20 секунд, а в вакуумном трубопроводе - 25 кПа за 60 секунд [2]. Контролируемое время повышения давления зависит от объема вакуумной системы. Объем же может быть больше или меньше проектного вследствие допускаемых на практике отклонений в монтажных схемах доильных установок. Это сказывается на точности оценки степени герметичности вакуумной системы. Применяемые другие методы и средства оценки герметичности характеризуются сложностью методики выполнения работ, низкой точностью и требуют применения расходомеров и индикаторов производительности, поправочных коэффициентов и таблиц. Приемы количественной оценки герметичности молочных трубопроводов отсутствуют. Знание же реальной герметичности элементов вакуумной системы требуется для оценки запаса производительности вакуумного насоса. Наличие запаса гарантирует стабилизацию рабочего вакуума при увеличении просачивания воздуха через щели, а также во время случайного напуска воздуха при подключении и отключении доильных аппаратов. Отсутствие запаса производительности установки является ее предельным состоянием. Поэтому целью диагностирования доильной установки является оценка быстроты действия вакуумного насоса, величины просачивания воздуха в вакуумные и молочные трубопроводы и их засоренности, эффективности работы доильных аппаратов.

Теория вакуумной техники позволяет оценивать потерю производительности вакуумных насосов по пре-

объемного действия, приводимые в действие электродвигателем, вращаются с постоянным числом оборотов n_0 в единицу времени. За каждый оборот вакуумный насос откачивает определенный малый объем воздуха $\Delta \vartheta = const$. После первого оборота объем воздуха становится равным $V + \Delta \vartheta$ (так как насос откачал $\Delta \vartheta$, а оставшийся воздух расширился до объема V), а давление - p_1 . По закону Бойля-Мариотта [3]:

$$p_1(V + \Delta \vartheta) = p_a V,$$

где p_a - атмосферное давление.

При втором обороте насос начинает качать от объема V (объем $\Delta \vartheta$ выброшен из вакуумной системы) и от давления p_1 :

$$p_2(V + \Delta \vartheta) = p_1 V \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p_2 = p_1 [V / (V + \Delta \vartheta)] \Leftrightarrow p_2 = p_a [V / (V + \Delta \vartheta)]^2.$$

После n оборотов

$$p_n = p_a [V / (V + \Delta \vartheta)]^n.$$

Так как n_0 - число оборотов в единицу времени, то $n = n_0 t$ и тогда

$$p_t = p_a [V / (V + \Delta \vartheta)]^{n_0 t} \Rightarrow \\ \Rightarrow \ln(p_0 / p_t) = n_0 \cdot t \cdot \ln(1 + \Delta \vartheta / V).$$

Так как число оборотов в единицу времени n_0 и выражение $1 + \Delta \vartheta / V$ постоянные величины, то можно записать

$$\ln(p_a / p_t) = const \cdot t = C \cdot t.$$

Очевидно, чем больше константа C , тем больше скорость откачки. Логарифм степени разрежения растет линейно со временем, а значит, растет и степень разрежения. Теоретически вакуумный насос может обеспечить любое разрежение. Практически каждый насос создает определенное минимальное давление, определяющее замедление скорости откачки. Причина этого - существование защемленных объемов и перетекание воздуха по торцовым зазорам. Поэтому часть воздуха остается в камере сжатия. Это замедляет откачку и приводит к тому, что при определенном давлении в откачиваемом объеме насос начинает работать вхолостую. Действительно, при давлении в системе " $p_{мин}$ " воздух, сжатый от первоначального объема камеры " V " до объема " Δv ", будет иметь давление меньше атмосферного и останется в камере. Предельное давление, обусловленное существованием защемленного объема, отражает условие [4]:

$$p_{мин} v = p_a \Delta v \Rightarrow p_{мин} = p_a \Delta v / V.$$

На молочных фермах республики используются ротационные насосы пластинчатого типа и водокольце-

вые насосы, позволяющие получить вакуум до 99,7...99,9%. Причем даже тщательная обработка и пригонка деталей ротационных насосов допускает просачивание воздуха внутри них с нагнетательной стороны на сторону впуска. Если, например, длина их пластин из-за износа уменьшится на 1 мм, то предельный вакуум снижается на 12% [5]. Техническое состояние вакуумного насоса характеризуется переменными во времени всевозможными параметрами конструкции и процесса функционирования: длина, ширина, глубина, диаметры, формы, допуски деталей и их соотношение, температура, расход потребляемой мощности и т.д. Определение технического состояния сопровождается десятками измерений, отнимающих большое количество времени и средств. Поэтому для более эффективного контроля технического состояния насоса предлагается выделить критический параметр из совокупности многих переменных. Основным критическим параметром, обладающим наибольшей чувствительностью к изменению технического состояния и определяющим пригодность к дальнейшей эксплуатации насоса, является его быстрота действия. По мере износа деталей быстрота действия насоса уменьшается.

Теоретической базой для контроля функциональной готовности вакуумного насоса является закономерность изменения его быстроты действия в области предельного давления. Быстрота действия насоса определяется величиной воздушного потока во входном патрубке. Поток воздуха, проходящий через входное сечение насоса, характеризует количество переносимого воздуха в единицу времени и называется его производительностью. Обычно поток воздуха Q измеряется в единицах мощности ($p \cdot V / t = Па \cdot м^3 / с = Н \cdot м / с = Вт$). При изотермическом процессе откачки $p \cdot V = const$. Дифференцируя это равенство, получим

$$Q = p(dV / dt) + V(dp / dt) = 0.$$

При постоянном давлении.

$$Q = p(dV / dt) = Sp,$$

где S - быстрота действия; p - давление.

Быстроту действия вакуумного насоса при давлении p можно определить, рассматривая производительность насоса как разницу прямого и обратного потоков в трубопроводе, соединяющем насос с доильными аппаратами. Номинальная быстрота действия S_n вакуумного насоса при приближении к предельному давлению стремится к нулю. Если обозначить Q_0 - поток натекающего воздуха, то откачиваемый вакуумным насосом воздушный поток составит [1]:

$$Q = S_n p - Q_0 = S_n p (1 - Q_0 / S_n p).$$

При достижении вакуумным насосом предельного давления p_0 воздушный поток Q равен нулю и $Q_0 = S_n p_0$. Тогда быстрота действия вакуумного на-

соса (S) в области предельного давления уменьшается согласно уравнению

$$S = S_n(1 - p_0/p).$$

Быстроту действия вакуумного насоса в различные периоды эксплуатации можно отразить системой уравнений:

$$\begin{cases} S_1 = S_n(1 - p_{01}/p) \\ S_2 = S_n(1 - p_{02}/p) \end{cases} \Rightarrow S_1/S_2 = (p - p_{01})/(p - p_{02}),$$

где S_1 - быстрота действия насоса в начале эксплуатации; S_2 - быстрота действия насоса на момент проверки.

Если принять p равным атмосферному давлению, то разность $p - p_{01}$ или $p - p_{02}$ является вакуумметрическим давлением. Тогда

$$S_2 = S_1 \Delta p_2 / \Delta p_1, \quad (1)$$

где Δp_1 - предельный вакуум насоса в начале эксплуатационного периода; Δp_2 - предельный вакуум насоса на момент проверки.

Эта закономерность позволяет оценивать быстроту действия вакуумного насоса вакуумметром. Для определения требуемого параметра достаточно зафиксировать вакуумметром предельное вакуумметрическое давление, развиваемое насосом, и рассчитать его быстроту действия по результату предыдущего контроля или заводских данных. Допустимая потеря быстроты действия насоса составляет 20% ($k=0,2$). Минимально допустимая быстрота действия насоса составит $S_{\min} = S_0 - S_0 \cdot k = 60 - 60 \cdot 0,2 = 48 \text{ м}^3/\text{ч}$. Предельное вакуумметрическое давление насоса определим по формуле, вытекающей из соотношения (1):

$$p_{\min} = S_{\min} \cdot \frac{p_0}{S_0} = (S_0 - S_0 k) \cdot \frac{p_0}{S_0}$$

$$= (1 - k) \cdot p_0 = (1 - 0,2) \cdot 99,9 = 79,92 \text{ кПа}.$$

В вакуумных системах доильных установок разрежение часто создается параллельно соединенными насосами. Предельное давление каждого вакуумного насоса может быть различным. В этом случае уравнение воздушных потоков для общего вакуумного баллона, к которому подключены через элементы с проводимостями $U_1, U_2, \dots, U_p, \dots, U_n$ все входные патрубки параллельно соединенных насосов, запишем в виде [6 с. 193-194]:

$$\sum_{i=1}^n S_i p_i = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n S_{ni} (p_i - p_{0i}) = 0. \quad (2)$$

Для каждого из насосов справедливо уравнение

$$U_i (p_0 - p_i) = S_{ni} (p_i - p_{0i}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p_i = (U_i p_0 + S_{ni} p_{0i}) / (S_{ni} + U_i), \quad (3)$$

где p_0 - предельное давление системы вакуумных на-

сосов, создаваемое в баллоне.

После подстановки (3) в (2) получим

$$p_0 = \sum_{i=1}^n p_{0i} S_{ni} U_i / \sum_{i=1}^n S_{ni} U_i,$$

где

$$S_{ni} U_i = S_{ni} U_i / (S_{ni} + U_i).$$

Насос с аномально высоким предельным давлением (p_{0i}) из числа параллельно включенных вакуумных насосов ухудшает предельный вакуум в системе менее, чем если бы он был один подключен к системе. Действительно, если все U_i и p_{0i} равны,

$$\text{а } p_{0i} \geq \sum_2^n p_{0i}, \text{ то}$$

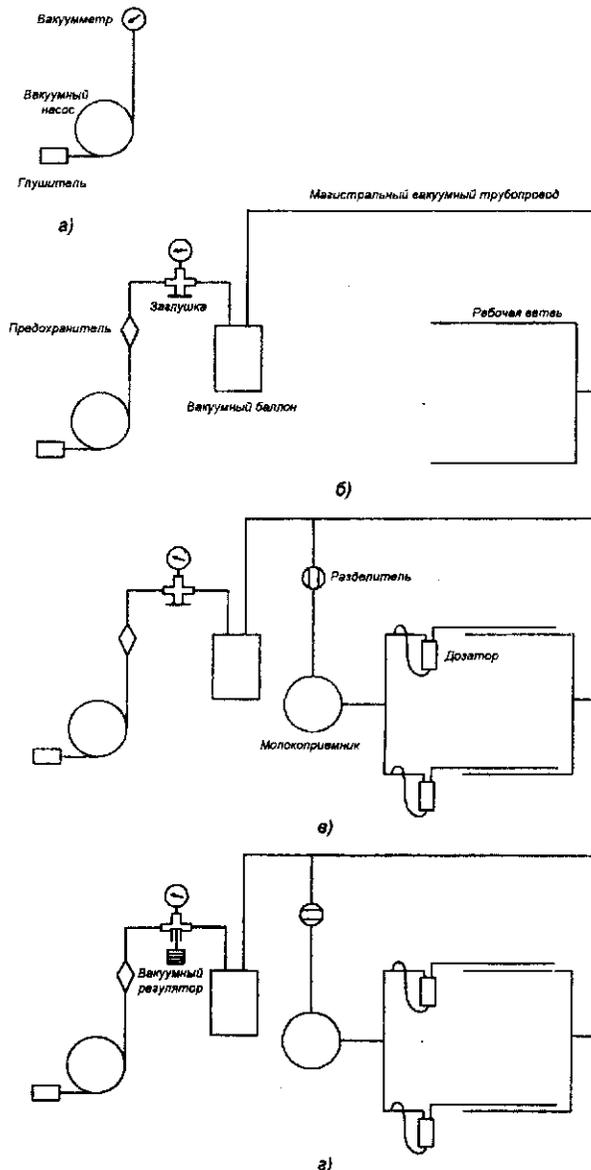


Рис. 1. Алгоритм тестирования герметичности вакуумной системы.

$$p_6 = \left(\sum_1^n p_{0i} \right) / n = \left(p_{01} + \sum_2^n p_{0i} \right) / n \approx p_{01} / n$$

и в то же время

$$p_6 \geq \left(\sum_2^n p_{0i} \right) / n = \left(\sum_1^n p_{0i} \right) / n = (n-1)p_{01} / n \approx p_{01}$$

Теория вакуумной техники также позволяет оценивать герметичность вакуумных и молочных трубопроводов по предельному давлению. Для этого следует учитывать, что воздушный поток, протекающий по вакуумному трубопроводу, соответствует уравнению [1]:

$$Q = pS = S_n(p - p_{01}). \quad (4)$$

При протекании через щели воздуха объемом U , измеренного при атмосферном давлении p_a , поток воздуха через них ΔQ определится выражением:

$$\Delta Q = p_a U. \quad (5)$$

Тогда общий поток воздуха от доильных аппаратов и щелей увеличится, а давление в системе повысится на величину Δp

$$Q + \Delta Q = S_n(p + \Delta p - p_0). \quad (6)$$

Подставляя значения Q и ΔQ из уравнений (4) и (5) в уравнение (6), получим

1. Значения предельных вакуумметрических давлений для оценки герметичности вакуумной системы

Вакуумметрическое давление насоса	Вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы"	Вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы – молочные трубопроводы"
99,900	96,885	90,885
98,235	95,220	89,190
96,570	93,555	87,525
94,900	91,890	85,860
93,240	90,225	84,195
91,575	88,560	82,530
89,900	86,895	80,865
88,245	85,230	79,200
86,580	83,565	77,535
84,915	81,900	75,870
83,250	80,235	74,205
81,585	78,570	72,540
79,920	76,905	70,875

$$S_n(p - p_0) + p_a U = S_n(p + \Delta p - p_0) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow U = S_n \Delta p / p_a \quad (7)$$

Уравнение (7) отражает герметичность через связь между просачиванием воздуха и изменением предельного давления в трубопроводах.

Натекание воздуха через трубопроводы и доильные аппараты, понижающее вакуумметрическое давление в системе на 29,92 кПа ($\Delta p = 79,92 - 50 = 29,92$), составляет 14,36 м³/ч

$$(U = S \cdot \frac{\Delta p}{p_a} = 48 \cdot \frac{29,92}{100} = 14,36).$$

При работе 6 доильных аппаратов в вакуумную систему натекает $U_0 = 10,02$ м³/ч воздуха [5], повышая давление на 20,875 кПа

$$(\Delta p_0 = p_a \cdot \frac{U_0}{S} = 100 \cdot \frac{10,02}{48} = 20,875).$$

С учетом вышеизложенных теоретических предпосылок рекомендуется следующая последовательность контроля герметичности вакуумной системы (рис. 1):

1. Проверка герметичности вакуумного насоса (рис. 1а).

Вакуумметром фиксируется предельное вакуумметрическое давление насоса. Герметичность насоса обеспечена, если результат измерения больше минимально допустимого – 79,92 кПа (падение производительности насоса не превышает 20%).

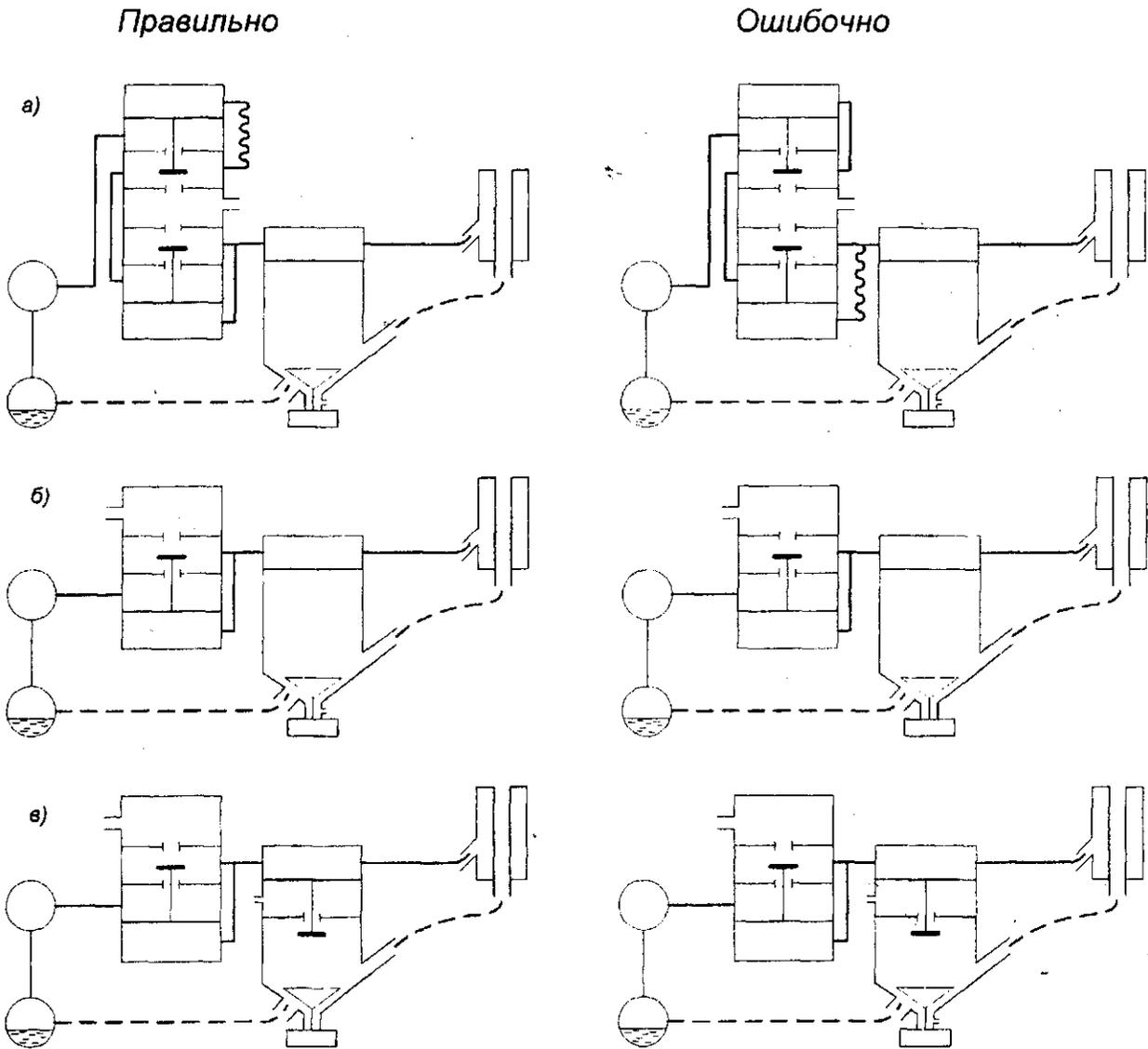


Рис. 2. Варианты комплектации доильных аппаратов.

2. Проверка герметичности вакуумных трубопроводов (рис. 1б).

Зная предельное вакуумметрическое давление насоса, по табл. 1 определяем допустимое предельное вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы". Измеряется предельное вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы". Вакуумные трубопроводы считаются герметичными, если измеренное вакуумметрическое давление больше допустимого значения (падение быстроты откачки не превышает 3,015%).

3. Проверка герметичности молочных трубопроводов (рис. 1в).

Зная предельное вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы", по табл. 1 определяем допустимое предельное вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы –

молочные трубопроводы". Измеряется предельное вакуумметрическое давление системы "насос – стальные трубопроводы – молочные трубопроводы". Молочные трубопроводы считаются герметичными, если измеренное вакуумметрическое давление больше допустимого значения (падение быстроты откачки не превышает 6,03%).

4. Проверка герметичности вакуумного регулятора (рис. 1г).

В посадочное место на всасывающем патрубке насоса вкручивается вакуумный регулятор. После включения насоса груз вакуумного регулятора вручную оттягивается до плотного закрытия клапаном вакуумного регулятора его седла. Герметичный регулятор сохраняет предельное вакуумметрическое давление вакуумных трубопроводов.

При подключении 12 доильных аппаратов падение вакуумметрического давления достигает 41,75 кПа. Тогда рабочий вакуум даже при полностью герметичных трубопроводах составит $79,92 - 41,75 = 38,17$ кПа, что значительно меньше требуемой величины. Таким образом, увеличение количества подключенных доильных аппаратов значительно повышает требования к вакуумной системе.

Засоренность вакуумного и молочного трубопроводов целесообразнее определять по разности вакуумметрических давлений. Для этого рекомендуется использовать ручку доильного аппарата с двумя закрепленными на ней вакуумметрами. Наличие разности давлений подтверждает засоренность линии с меньшим вакуумметрическим давлением.

Часто плохую работу доильных аппаратов связывают с низким техническим состоянием вакуумной системы. Поэтому тестирование вакуумной системы должно сопровождаться проверкой правильности сборки пульсаторов и коллекторов доильных аппаратов. Следует учитывать, что канал низкочастотного (1 Гц) блока вибрационного пульсатора имеет меньшее сечение и большую длину. Сборка пульсаторов без учета различия управляющих камер может приводить к тому, что на одном пульсаторе оказываются два высокочастотных или низкочастотных блока или же просто блоки меняются местами (рис.2а). Эта причина потери работоспособности предопределила отрицательное отношение эксплуатационников к вибрационному пульсатору.

Кроме того, работоспособность доильных аппаратов зависит также от коллекторов. На нижней торцевой поверхности крышки коллектора доильного аппарата основного исполнения имеется проточка, через которую постоянно во время доения поступает в коллектор воздух (рис.2б). Этот поток воздуха способствует удалению молока из коллектора в молочный трубопровод. В коллекторе низковакуумного доильного аппарата эту функцию (в такте сжатия) выполняет клапанное устройство. Неосмотрительная установка нижних крышек приводит к тому, что они могут оказаться на разных доильных аппаратах. Такое положение приводит в доильных аппаратах к переполнению молочного шланга молоком, деблокировке сосков вымени от молока, находящегося в коротких молочных трубках и коллекторе, создает условия для обмыва сосков молоком. Величина вакуума под соском снижается на величину, соответствующую гидростатическому давлению молочного столба (один метр жидкости снижает давление на 10 кПа). Дополнительный же напуск воздуха в коллектор низковакуумного доильного аппарата через проточку увеличивает давление

под соском вымени коровы (рис.2в). Ведь снижение гидростатического давления пропорционально соотношению смеси молока и воздуха, т.е. уменьшается пропорционально количеству напускаемого воздуха. Напуск воздуха только в верхней части низковакуумного коллектора уменьшает колебания вакуума на 0,5 кПа [7] по сравнению с коллектором доильного аппарата основного исполнения.

Предельное вакуумметрическое давление в вакуумной системе технически исправной доильной установки превышает 79,92 кПа. Проведение текущих ремонтов обязательно при снижении предельного вакуумметрического давления до 70..75 кПа. Методика диагностирования герметичности доильной установки по предельному давлению исключает геометрические характеристики системы, потребность специального оборудования, сокращает время диагностирования и уменьшает потери электрической энергии. Повышению приспособленности вакуумных систем доильных установок к проведению диагностирования способствует монтаж разделителей на всасывающих патрубках насосов. Заводы и предприятия, изготавливающие или ремонтирующие вакуумные насосы для доильных установок, должны указывать в технической документации предельное давление насосов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шумский К.П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения. - М.: Машиностроение, 1974, 576 с.
2. Агрегат доильный с молокопроводом АДМ-8. Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке на месте применения, 1979.
3. Шаскольская М.П., Эльцин И.А. Сборник избранных задач по физике: Учеб. руковод./Под ред. С.Э.Хайкина.-5-е изд., перераб.- М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.- 208 с. ил.
4. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика в примерах и задачах: Учеб. пособие.-3-е изд., перераб. и доп. - М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит; 1989 - 464 с.
5. Мжельский Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок.- М.: "Машиностроение", 1974, 152с.
6. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учеб. для вузов по спец. "Вакуумная техника".- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк. 1990.-320 с.: ил.
7. Rabold K. Cyclic vacuum fluctuations in milking machines. Schweden.1980.