

О КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРАХ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Исследовано влияние вида технического состояния доильной установки на эффективность доения коров. Установлена связь оценочных показателей (расход воздуха доильной установкой, расход воздуха регулятором вакуума, сумма расходов и их разность) с параметрами вакуумной системы. Проанализирована чувствительность контролируемых параметров.

Ключевые слова: доильная установка, вакуумная линия, молокопровод, доильный аппарат, расход воздуха.

Усилия по внедрению новых методов и точных прогрессивных технологий, использованию достижений генетики, селекции не дадут соответствующего результата, если не обеспечена стабильность технических и технологических параметров.

Особенно это важно при машинном доении, где взаимодействуют одновременно человек, машина и животное. Одним из определяющих параметров здесь является вакуумный режим. До настоящего времени исследуется вопрос о механизме влияния этого параметра на продуктивность, интенсивность молоковыведения, стабильность гидродинамических параметров потока молока и моющего раствора в молокопроводе. Исследователи сходятся во мнении, что нестационарные колебания вакуумного режима вызывают только отрицательный эффект [1, 2].

В результате возникающей дестабилизации зависимых от разрежения параметров (частоты пульсаций, соотношения тактов, характера воздействия сосковой резины на сосок вымени) нарушается стереотип доения, снижается продуктивность животных, они заболевают маститом, снижается производительность труда доярок, динамика образования загрязнений не соответствует гидродинамическому воздействию моющей жидкости на очищаемую поверхность. Существующие способы стабилизации вакуумного режима не обеспечивают постоянства рабочих параметров доильных аппаратов. Это подтверждается исследованиями работников СибИМЭ, ВИЭСХ, ВНИИТИМЖ, Целинного филиала ГОСНИТИ, Оренбургского ГАУ и многих других организаций [3, 4].

Литературный обзор позволил нам достаточно полно изучить влияние вида технического состояния на эффективность доения коров,

применяемые способы и средства стабилизации вакуумного режима, существующие средства контроля вакуумного режима, методы его оценки и сформулировать цель экспериментальных исследований – повышение эффективности контроля вакуумного режима доильных установок [5, 6, 7]. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) установить зависимость изменения коэффициента динамической стабильности разрежения в неблагоприятной точке для различных доильных установок в хозяйствах области;

2) установить связь оценочных показателей расходов с параметрами группы одновременно работающих доильных аппаратов и неисправностями вакуумной системы, оценить их чувствительность.

Исследования были проведены в хозяйствах Оренбургской области. Использовали доильные установки АДМ-8, ДАС-2Б, УДТ-8, УДС-3 с доением в ведра и в молокопровод, отвечающие и не отвечающие техническим и организационно-технологическим требованиям. Как правило, каждую из установок проверяли дважды. Сначала исследовали фактическое функционирование вакуумной системы. Затем проводили операции технического обслуживания, добивались работы установки с вакуумным режимом, который отвечает предъявляемым требованиям, и повторяли исследование. Во время дойки наряду с регистрацией изменения величины расходов и разрежения проводили хронометраж.

Первый цикл опытов – изучение влияния некоторых параметров группы одновременно работающих доильных аппаратов, второй цикл – изучение влияния параметров вакуумной линии на вероятностные характеристики расхода воз-

духа регулятором, системой, суммы и разности между ними.

Динамическую стабильность разрежения в неблагоприятной точке оценивали величиной

$$K_{pc} = \frac{\int_{t_0}^{t_k} \sqrt{1 + dP/dt} \cdot dt}{(t_k - t_0)}, \quad (1)$$

где t_0 – время начала дойки, с; t_k – время окончания дойки, с; P – значение разрежения в функции времени, Па; K_{pc} – отношение длины кривой фактического изменения давления в трубопроводе к величине проекции этой кривой на направление оси времени с учетом масштабного коэффициента по оси ординат и оси абсцисс.

Из общего числа проверенных доильных установок использовали четыре марки УДТ-8, четыре – АДМ-8 и девять ДАС-2Б. Причем неисправности (герметичность, засоренность трубопровода, производительность вакуумного насоса) сочетали таким образом, что сформировался план Хартли [8]. Это позволило нам применить стандартные статистические методы обработки результатов эксперимента. Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$K_{pc} = 1,12 + 0,05x_1^2 + 0,11x_1x_2 + 0,02x_1x_3 - 0,08x_4, \quad (2)$$

где x_1 – герметичность вакуумной системы; x_2 – производительность вакуумного насоса; x_3 – засоренность трубопровода; x_4 – тип доильной установки (в зависимости от объема вакуумной системы: $x_4 = -1$ для установок типа АДМ; $x_4 = 0$ для установок типа ДАС; $x_4 = 1$ для установок в доильных залах).

Кодированные факторы связаны с факторами в натуральном масштабе соотношениями

$$x_1 = (X_1 - 10)/10, \quad x_2 = (X_2 - 50)/10,$$

$$x_3 = (X_3 - 2000)/1000, \quad x_4 = (X_4 - 0.2)/0.08. \quad (3)$$

В числе проверенных установок значения фактической герметичности и засоренности подчиняются нормальному закону распределения. Наиболее вероятная величина фактора X_1 равна 20 м³/ч, фактора X_3 – 170 Па*ч/м³. Значения производительности насосных установок распределены равномерно на интервале от 40 до 70 м³/ч.

Выявлено, что коэффициент динамической стабильности разрежения заключен в пределах от 0,16 до 1,49 для доильных установок типа АДМ, в пределах от 1,00 до 1,30 для установок в доиль-

ных залах и в пределах от 1,03 до 1,36 для установок типа ДАС. Математическое ожидание разрежения превышает значения установленные техническими и организационно-технологическими требованиями к эксплуатации молочного оборудования и машинному доению коров (50,0 кПа для ДАС с двухтактными аппаратами, 44,74 кПа для АДМ и УДТ с двухтактными аппаратами).

Велико влияние на коэффициент K_{pc} соблюдения технологии операторами. Значения его могут отличаться на 15...20% для установок одинакового технического состояния, но обслуживаемых различными доями. Объясняется это тем, что при надевании и снятии аппарата с вымени допускаются прососы различной величины. Даже у операторов одной классности они отличаются. Как правило, максимальное значение прососа не превышает 3...8 м/ч, а длительность изменяется в пределах от 0,5 до 2,2 с у одного дояра.

Аналогичен эффект и от изменения нагрузки на вакуумную линию. Количество одновременно работающих доильных аппаратов за время дойки подчинено нормальному закону распределения, причем наблюдается значительный дрейф математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Результатами хронометражных исследований установлено превышение математического ожидания количества одновременно работающих доильных аппаратов на одну единицу в утреннюю дойку по сравнению с вечерней для одной и той же группы коров. При этом среднеквадратическое отклонение возрастает на 0,2 единицы. Увеличение количества доильных аппаратов на две единицы, против номинального, значительно видоизменяет уравнение регрессии 2. Оно принимает вид:

$$K_{pc} = 1,18 - 0,04x_1^2 + 0,15x_4^2 + 0,1x_3 + 0,08x_4x_2 \quad (4)$$

Нетрудно показать, что для наиболее вероятных значений неисправностей (герметичность – 20 м³/ч, засоренность – 2800 Па.ч/м³, производительность вакуум-насосной установки – 40...70 м³/ч) коэффициент динамической стабильности увеличивается в 1,10 раза для доильной установки АДМ, в 1,29 раза для доильной установки типа ДАС.

Следующие результаты получены на лабораторной установке при значении коэффициента динамической стабильности разрежения меньше 1,03. То есть вакуумный режим отвечал предъявляемым требованиям. Всего проведено

12 опытов. Варьировали количеством одновременно работающих доильных аппаратов, частотой пульсаций и соотношением между количеством аппаратов, работающих с различными частотами в одной группе. Результаты обработаны методами математической статистики и сведены в таблице 1.

Здесь $Q_c, Q_p, Q_\Delta, Q_\Sigma$ – математические ожидания расхода воздуха системой, регулятором, разности и суммы между ними соответственно, $m^3/ч$; $D_c, D_p, D_\Delta, D_\Sigma$ – дисперсия расхода воздуха системой, регулятором, разности и суммы между ними соответственно $(m^3/ч)^2$.

Практически не изменчива сумма между расходом воздуха установкой и расходом воздуха регулятором вакуума (ΣQ). Нельзя этого сказать по отношению к дисперсии суммы двух расходов. С увеличением нагрузки на вакуумную линию проявляется функциональная зависимость от частоты пульсаций, причем чувствительность составляет от $3,1 m^6/ч^2$ (при минимальной частоте пульсаций) до $1,6 m^6/ч^2$. Упомянутые сейчас и встречаемые далее значения коэффициентов чувствительности анализируемых параметров определены следующим образом:

к изменению частоты пульсаций $(Q_{max} - Q_{min}) / \Delta f, (D_{max} - D_{min}) / \Delta f$; к изменению нагрузки на вакуумную линию $(Q_{max} - Q_{min}) / \Delta i, (D_{max} - D_{min}) / \Delta i$; к изменению стабильности частоты пульсаций $(Q_{max} - Q_{min}) / \Delta K_{fc}, (D_{max} - D_{min}) / \Delta K_{fc}$, где Q_{max}, Q_{min} – максимальное и минимальное значение математического ожидания соответствующего расхода, $m^3/ч$; D_{max}, D_{min} – максимальное и минимальное значение дисперсии соответствующего расхода, $m^6/ч^2$; Δf – приращение частоты пульсаций группы одновременно работающих доильных аппаратов, Гц; Δi – приращение количества одновременно работающих аппаратов; $K_{fc} = \varphi_i \psi_i$ – коэффициент стабильности частоты пульсаций. Здесь φ_i – доля доильных аппаратов, работающих с завышенной частотой пульсаций, ψ_i – доля фактического приращения частоты от ее номинального значения.

Чувствительность математического ожидания расхода воздуха системой на 20...30% (примерно в 1,3...1,5 раза) выше, чем чувствительность математического ожидания расхода воздуха регулятором вакуума, и колеблется в пределах от 1,8 до 2,7 $m^3/ч$ (1,4...1,9 $m^3/ч$ – для расхода воздуха регулятором). Для дисперсии она на 70% (примерно в 3,4 раза) выше чувстви-

тельности дисперсии расхода воздуха регулятором, но колебания более значительны – от 0,7 $m^6/ч^2$ до 10,3 $m^6/ч^2$ (0,2...3,0 $m^6/ч^2$ – для расхода воздуха регулятором вакуума).

Коэффициент чувствительности математического ожидания разности между расходами (3,2...4,3 $m^3/ч$) в 2...6 раз выше чувствительности математического ожидания суммы расходов; в 1,5...1,8 раза выше его значения для расхода воздуха системой; в 1,7...2,7 раза выше соответствующего значения коэффициента для расхода воздуха регулятором вакуума.

Значительны колебания коэффициента чувствительности для дисперсии разности между расходами. Он превышает значение коэффициента для дисперсии суммы расходов в 2...6 раз; более чем в 2 раза для дисперсии расхода воздуха системой и более чем в 5,5 раза для расхода воздуха регулятором вакуума.

Сумма между расходами (математическое ожидание) не зависит от частоты пульсаций, как она не зависит и от нагрузки на вакуумную линию. Нельзя этого сказать о коэффициенте дисперсии. Минимальное его значение – 6,8 $m^6/ч^2 \cdot Гц$, максимальное – 10,3 $m^6/ч^2 \cdot Гц$. Более чувствительны математическое ожидание расхода воздуха системой и расхода воздуха регулятором вакуума (6,3...12,3 $m^3/ч^2 \cdot Гц$ и 5,8...7,9 $m^3/ч^2 \cdot Гц$ соответственно), а также их дисперсий (6,3...123,0 $m^6/ч^2 \cdot Гц$ и 5,6...48,0 $m^6/ч^2 \cdot Гц$ соответственно).

С увеличением нагрузки на вакуумную линию до десяти доильных аппаратов повышается изменчивость математического ожидания от частоты пульсаций. Значение коэффициента

Таблица 1

N	Q_c	D_c	Q_p	D_p	Q_Δ	D_Δ	Q_Σ	D_Σ
1	7,0	45,6	56,3	17,5	49,4	119,3	63,3	6,9
2	13,1	6,8	56,6	7,3	43,5	26,9	69,1	0,8
3	16,5	4,4	52,9	5,4	36,6	16,1	69,7	1,3
4	11,6	5,1	58,6	1,5	47,1	12,2	70,2	1,1
5	14,8	3,6	55,7	2,5	40,9	7,9	70,5	4,2
6	18,9	2,2	53,2	2,4	34,3	5,8	72,1	3,4
7	12,8	14,4	54,9	8,5	42,1	44,3	67,7	1,6
8	18,1	1,8	51,8	1,2	33,7	3,7	69,9	2,2
9	23,6	13,0	48,3	0,9	24,8	20,0	71,9	7,9
10	18,0	10,2	53,3	7,2	35,3	33,0	71,3	1,5
11	20,5	6,9	50,9	2,5	30,4	15,8	71,4	3,1
12	22,8	9,3	47,8	2,3	25,0	14,8	70,5	58,0

чувствительности достигает $14,8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{Гц}$, что выше соответствующего коэффициента для суммы расходов в 5,3 раза, для расхода воздуха системой – в 1,7 раза и для расхода воздуха регулятором вакуума – в 2,7 раза. Разность между расходами. Коэффициент чувствительности ($26...227 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{Гц}$) превышает соответствующие значения для проанализированных выше параметров в пять раз. Большой разброс значений объясняется особенностью работы группы аппаратов, работающих от одной вакуумной линии, – синхронностью работы одних и асинхронностью других.

Анализ зависимостей исследуемых параметров от стабильности частоты пульсаций выявил незначительную чувствительность математического ожидания суммы расходов ($0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$), несколько большую – математического ожидания расхода воздуха системой ($2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$) и максимальную – расхода воздуха регулятором вакуума ($5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$) и разности между расходами ($5,1 \text{ м}^3/\text{ч}$). Коэффициент чувствительности дисперсии разности между расходами значительно превышает остальные ($7,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ против $3,3...4,7 \text{ м}^3/\text{ч}$). Значения коэффициентов чувствительности исследуемых оценочных параметров к нагрузке, частоте пульсаций и стабильности работы доильных аппаратов сведены в таблице 2.

Таким образом вакуумный режим в вакуумной системе доильных установок неустойчив – коэффициент динамической стабильности разрежения принимает значения в диапа-

Таблица 2. Чувствительность оценочных показателей расходов к изменению параметров группы одновременно работающих доильных аппаратов

	К частоте при нагрузке, д. а.			К нагрузке при частоте, Гц			K_{fc}
	6	8	10	1	1,4	1,8	
Q_{Σ}	21,0	1,8	2,8	1,6	0,5	1,1	0,5
Q_c	12,3	6,3	8,9	2,4	1,8	2,7	2,5
Q_p	7,9	6,0	5,8	1,9	1,4	1,6	5,5
Q_{Δ}	9,1	12,3	14,8	3,2	3,2	4,3	5,1
D_{Σ}	6,8	10,3	8,3	3,1	1,6	1,6	3,3
D_c	123,0	6,3	23,0	10,3	0,7	6,3	3,3
D_p	48,0	7,6	5,6	3,0	0,2	1,9	4,7
D_{Δ}	227,0	29,0	26,0	2,80	1,8	10,2	7,6

зоне от 1 до 1,49. Для режима работы вакуумной системы, отвечающей предъявляемым требованиям ($K_{pc} < 1,03$), определены коэффициенты чувствительности различных контролируемых параметров к неисправностям. Это позволяет формировать управляющее воздействие до того момента, когда вакуумный режим будет нарушен. Полученные результаты могут быть использованы при разработке системы контроля параметров вакуумной системы доильных установок для обеспечения качества получаемого молока.

29.06.2011

Список литературы:

1. Цой Ю.А. Концепция создания и поставки оборудования для молочных ферм на принципах трансдаптивности // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. – 2010. Вип. 84. – С. 15-22.
2. Луценко М., Смоляр В. Приборы для контроля качества выполнения технологических процессов в животноводстве // Техніка АПК. – 2005. – №5-6. – С. 32-34.
3. Кирсанов В.В. Оптимизация гидравлических параметров молокопроводов доильных установок // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – №8. – С. 14-16.
4. Сиротюк В.Н., Татаренко Ю.М., Магац М.И. Энергетические аспекты процесса машинного доения // Материалы XIII Международного симпозиума по вопросам машинного доения коров. – Гомель, 2006.
5. Фененко А.И. Экономика физиологичности исполнительного механизма звена «машина-животное» процесса доения коров // Молочное дело. – 2009. – №6. – С. 27-29.
6. Шулятьев В.Н., Сурков С.В. Теоретический анализ вакуумного режима доильной установки с молокопроводом // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2010. – Вып. 11. – С. 233-237.
7. Савран В.П., Бабкин В.П., Пискун В.И., Грицаенко В.И. и др. Выбор и оценка доильных аппаратов и молоковакуумных систем. Методические рекомендации. – Харьков: Институт животноводства УААН, 2002 – 82 с.
8. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.

Сведения об авторе:

Карташов Л.П., заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор
Ушаков Ю.А., заведующий кафедрой математики и теоретической механики,
 кандидат технических наук, доцент

460795, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, тел. (3532) 775234, e-mail: 1ubj1a159@mail.ru