

IMPROVING CREATE VARIABLE AIR VOLUME DEVICES FOR MILKING MACHINES

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ СОЗДАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Ushakov Y.A., Doctor of Technical Sciences, Professor; Danilova N.G., Graduate student
Faculty of Engineering, Orenburg State Agrarian University, Russian Federation
1u6j1a159@mail.ru

Ушаков Ю.А., доктор технических наук, профессор; Данилова Н.Г., аспирант
Инженерный факультет, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, Российская Федерация
1u6j1a159@mail.ru

Abstract: Terms of research and testing units and elements of milking machines in laboratories differ significantly from the real and are usually limited. For example, the test stand vacuum controllers, models are only four discrete flow rate regulated by a strictly defined scheme. To improve the efficiency of research and testing provides the use of variable air flow generator with the specified probability characteristics. Mathematical modeling operation of such devices is considered, both individually and in case of parallel and serial connections. In each case identified: the criterion of randomness generated by the air flow rates, the value of the stability factor of the expectation, the value of the coefficient of stability of the standard deviation and coefficient of stability of structure complexity.

Keywords: MILKING INSTALLATION, TESTING, RESEARCH, AIR FLOW, VACUUM LINE, MILK LINE.

Аннотация: Условия исследований или испытаний узлов и элементов доильных установок в лабораториях значительно отличаются от реальных и носят, как правило, ограниченный характер. Например, стенд для испытания регуляторов вакуума, моделирует только четыре дискретных значения расхода, регулируемых по строго определенной схеме. С целью повышения эффективности исследований и испытаний предлагается применение генераторов переменного расхода воздуха с заданными вероятностными характеристиками. Математическим моделированием рассмотрена работа подобных устройств, как в отдельности, так и в случае параллельного и последовательного их соединений. В каждом случае определены: критерий случайности генерируемых значений расхода воздуха, значение коэффициента стабильности математического ожидания, значение коэффициента стабильности среднеквадратического отклонения и значение коэффициента стабильности сложности структуры.

Ключевые слова: ДОИЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ИСПЫТАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ, РАСХОД ВОЗДУХА, ВАКУУМНАЯ ЛИНИЯ, МОЛОКОПРОВОД.

1. Introduction/Введение

С совершенствованием вакуумной системы доильной установки, как в целом, так и отдельных ее элементов занимают многочисленные научно-исследовательские центры у нас в стране и за рубежом. Однако качество работы вакуумной системы оставляет желать лучшего, несмотря на большое число разработок. Основная причина в том, что условия исследований или испытаний элементов вакуумной системы доильной установки значительно отличаются от реальных и носят, как правило, ограниченный характер[1,2].

Например, стенд для испытания вакуума[167] моделирует только четыре дискретных значения расхода, регулируемых по строго определенной схеме: $(15)+15$; $(15+15)+15$; $(15+15+15)-15$; $(15+15)-15$. На практике расход воздуха доильной установки носит случайный характер. Это функция числа одновременно работающих доильных аппаратов, синхронности и асинхронности их работы, состояния вакуумной системы, соблюдения технологии операторами и т.д.[1,2,3]. Для оценки качества работы вакуумной системы по искажению сигнала, который подан на вход системы, для испытания элементов вакуумной системы, для формирования эффективного впуска воздуха в молокопровод в режиме промывки и обеспечения пробкового режима движения моющей жидкости необходимы генераторы переменного расхода воздуха. Таких устройств нами разработано несколько.

2. Preconditions and means for resolving the problem/Предпосылки и средства для решение проблемы

В первом варианте (рис. 1) устройство выполнено в виде пакета из двух дисков 2 и 3, установленного в корпусе 1[4].

Он имеет базовое отверстие, а диски – отверстия различных диаметров. В процессе работы проходное сечение, сообщающее полость вакуумной линии с внешней средой изменя-

ется случайным образом, а соответственно изменяется и расход воздуха. Дисперсия регулируется дросселированием на входе. Частотная характеристика изменяется регулированием частоты вращения дисков 2 и 3.

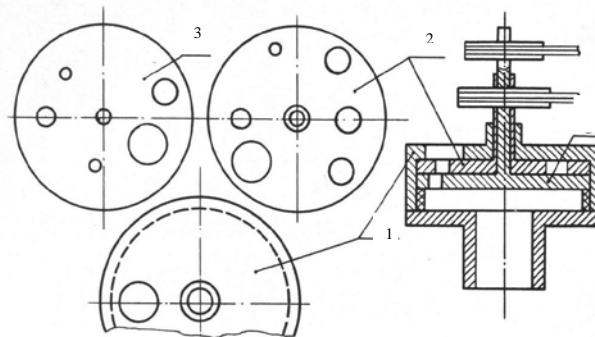


Рисунок 1 – Имитатора расхода воздуха доильными аппаратами (пояснения в тексте)

Второй вариант выполнен в виде электромеханического генератора переменного расхода воздуха[5] (рис. 2). Он имеет три диафрагмы 1, 2 и 3 различной пропускной способности, сообщающие внутреннюю полость трубопровода 4 с атмосферой через соответствующие электромагнитные клапаны 5, 6 и 7, которые соединены между собой параллельно.

Для моделирования переменной составляющей используется восемь значений расхода

$$C_3^0 + C_3^1 + C_3^2 + C_3^3 = \frac{3!}{0!(3-0)!} + \frac{3!}{1!(3-1)!} + \frac{3!}{2!(3-2)!} + \frac{3!}{3!(3-3)!} = 8$$

Устройство 8 разблокировки старого и блокировки нового состояния клапанов совмещено с генератором случайных значений, работает в автоматическом режиме. Величина угла каждого из секторов диска 9 пропорциональна вероятности появления соответствующего значения расхода (восемь значений расхода – полная группа событий). Это позволяет, используя различные диски, моделировать различные законы распределения, в том числе, и нормальный. Частотная характеристика определяется

режимом работы блокировочно-разблокировочного узла 8. Математическое ожидание расхода изменяется с помощью вентиля 10, сообщающего внутреннюю полость трубопровода с атмосферой.

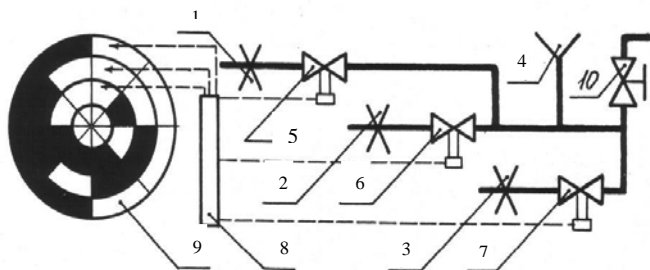


Рисунок 2 – Схема электромеханического генератора переменного расхода воздуха доильными аппаратами (пояснения в тексте)

Первое устройство хорошо имитирует расход воздуха группой одновременно работающих доильных аппаратов, второе – их число.

Ни в первом, ни во втором вариантах устройства не предусмотрено плавное изменение плотности распределения мгновенного расхода воздуха. Как правило, эти устройства обеспечивают равномерную или нормальную плотность расхода. Трудность заключается в том, что для изменения плотности распределения по определенному закону необходимо нелинейное устройство с монотонно изменяющимися параметрами [3].

Поэтому часто возникает необходимость в генераторе именно с изменяющейся формой плотности вероятности. Так в [6,7,8] показано, что погрешность измерения функции корреляции зависит от вида функции плотности вероятности, и поэтому для исследования погрешности требуется генератор с изменяющейся формой кривой плотности вероятности. На зависимость дисперсии оценки корреляционных функций от момента четвертого порядка распределения указывается в [7,8].

Как известно, один из способов оценки отличия вида плотности распределения вероятностей от нормального закона, принятый в теории вероятностей, заключается в нахождении эксцесса [7]. Эксцесс нормального закона принят равным нулю, соответственно более «плоские» законы имеют отрицательный эксцесс, более «острые» – положительный.

Рассмотрим новый способ построения генератора переменного расхода воздуха с плавно изменяющимся эксцессом (рис. 3).

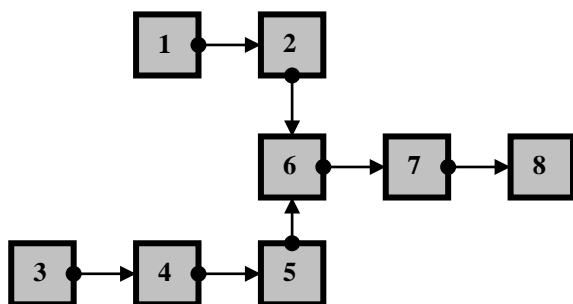


Рисунок 3 – Схема построения генератора переменного расхода воздуха с плавно изменяющейся функцией распределения (пояснения в тексте)

От генератора 1 воздух со случайным расходом $Q_1(t)$ поступает на усилитель 2 (при необходимости дроссельный) с коэффициентом усиления K_1 . Одновременно от генератора 3 воздух с расходом $Q_2(t)$ поступает на усилитель 4 с коэффициентом усиления K_2 и нелинейное устройство (НУ) 5. Оно выполнено в виде упругого демпфера с регулируемой

жесткостью. Генераторы 1 и 3 могут иметь одинаковые или различные функции распределения мгновенных значений расхода воздуха, но должны работать независимо друг от друга [3].

Нелинейное устройство должно иметь параболическую характеристику с нечетными показателями степени n , например с $n=3$. Таким образом, на выходе НУ получим расход

$$K_3(K_2Q_2(t))^n. \quad (1)$$

В устройстве 6 происходит сложение колебаний обоих каналов:

$$K_1Q_1(t) + K_3(K_2Q_2(t))^n. \quad (2)$$

Поскольку колебания независимы, в устройстве 6 формируется композиция законов распределения мгновенных значений расходов. При этом схема позволяет увеличить или уменьшить «вклад» колебаний расхода воздуха первого канала при одновременном уменьшении или увеличении «вклада» колебаний расхода второго. Причем возможно любое соотношение дисперсий расходов: от нулевого значения до максимального значения расхода воздуха.

Усилитель 7 имеет плавную регулировку коэффициента усиления. В одном состоянии воспроизводится расход, имеющий закон распределения мгновенных значений расхода генератора 1, в другом – закон распределения мгновенных значений расхода определяется генератором 3 и НУ 5. В промежуточных состояниях закон распределения мгновенных значений расхода воздуха определяется композицией законов распределения расходов на входе устройства 6.

Дисперсия выходного расхода воздуха регулируется изменением коэффициента усиления усилителя 7 и затуханием компенсатора 8, что учитывается коэффициентом K_4 . Расход воздуха на выходе компенсатора:

$$K_4(K_1Q_1(t) + K_3(K_2Q_2(t))^n). \quad (3)$$

Ширина спектра на входе генератора переменного расхода воздуха зависит от ширины спектра исходных генераторов 1 и 3 и полос пропускания усилителей 2, 4 и 7.

Следует заметить, что прямой связи между шириной спектра и видом функции распределения мгновенных значений нет. Функцию распределения с данным эксцессом можно получить практически в любой используемой ширине спектра [6,8].

Применение нелинейного устройства связано с изменением спектра преобразуемого расхода воздуха. Очевидно, что для правильного формирования композиции устройство 6 и все последующие элементы генератора (усилитель 7 и компенсатор 8) должны рассчитываться на неискаженное пропускание всего спектра расхода, возникающего в результате сложения расходов с выхода усилителя 2 и нелинейного устройства.

Устройство 6 имеет линейную характеристику, поэтому спектр колебаний на его выходе представляет собой сумму спектров колебаний на входах. Ширину суммарного спектра определяют шириной спектра наиболее широкополосного входного колебания. Применение нелинейного устройства с характеристикой в виде полинома n -й степени приведет к «обострению» формы всплесков расхода и расширению его спектра. Таким образом, наиболее широкополосным окажется расход на выходе преобразователя.

В общем виде преобразование спектра расхода носит характер «размазывания», которое оказывается тем более сильным, чем выше степень полинома, определяющего характеристику преобразования [3,7,8]. Крайняя высшая частота полосы спектра расхода равна $n \cdot w$, где n – степень полинома, w – высшая частота спектра расхода.

Покажем, как изменяется спектр колебаний расхода на выходе нелинейного устройства для случая, когда расход имеет нормальную плотность распределения. Для этого воспользуемся методикой, изложенной в [3,6,7].

Найдем выражение для функции корреляции расхода на выходе НУ 5, поскольку она однозначно связана со спектральной плотностью преобразованием Винера-Хинчина. Пусть характеристика НУ описывается параболой $Q_5 = K_3Q_4^3$,

где Q_4 – расход воздуха на выходе усилителя 4. Тогда функция корреляции $B(\tau)$ расхода на выходе НУ $B(\tau) = B_1(\tau) + B_2(\tau)$. Слагаемое $B_1(\tau) = 3R(\tau)K_3\sigma_2^3$ соответствует неискаженному спектру расхода на входе НУ, а слагаемое $B_2(\tau) = 6R^3(\tau)K_3\sigma_2^3$ – результату нелинейных искажений спектра входного расхода НУ третьего порядка ($R(\tau)$ и σ_2 – соответственно коэффициент корреляции и среднее квадратическое значение входного расхода воздуха).

Таким образом, при использовании кубического преобразователя необходимо, чтобы элементы 6, 7, 8 схемы генератора имели полосу пропускания шире более чем в три раза по сравнению с полосой частот генератора 3. Практически это требование не слишком жесткое. Так, для низкочастотного генератора, имеющего ширину исходного спектра расхода 20 Гц, полоса пропускания у блоков 6, 7, 8 должна быть не менее 60 Гц.

Рассмотрим, как связан спектр расхода со значением установленного эксцесса. В начальном положении регулятора эксцесса спектр расхода на выходе генератора соответствует спектру расхода на выходе НУ. Перемещением регулятора в сторону уменьшения эксцесса интенсивность спектра расхода от НУ 5 снижается, а от генератора 1 увеличивается. Это приводит к изменению характера плотности спектра по частоте. При этом общая ширина спектра не меняется и определяется наиболее широкополосным колебанием. Перераспределение энергии внутри полосы спектра идет с регулировкой эксцесса вплоть до крайнего положения регулятора, когда спектр расхода на выходе НУ 5 определяется только генератором 1.

Диапазон средних квадратических значений выходных расходов определяется коэффициентом усиления примененных усилителей и затуханием компенсатора 8. Диапазон изменения эксцесса выходного расхода зависит от вида функции распределения расходов генераторов 1, 3 и НУ 5.

Рассмотрим работу генератора расхода с переменным эксцессом, когда генератор 1 имеет равномерную функцию распределения, а генератор 3 – нормальную. Показатель степени параболического преобразователя $5n = 3$, т.е. $Q_5 = K_3Q_4^3$.

Дифференциальная функция распределения на выходе НУ 5 в этом случае

$$q(Q_5) = (3\sqrt{2\pi}K_2\sigma_2^3\sqrt{K_3Q_5^2})^{-1} \times \exp\left[-\sqrt{3}Q_5^2 / (2K_2^2\sigma_2^3\sqrt{K_3^2})\right], \quad (4)$$

где σ_2 – средняя квадратическая величины расхода воздуха генератора 3.

Дисперсия на выходе нелинейного устройства

$$\sigma_5 = 2^3 / \sqrt{\pi} \sigma_2^6 K_2^6 K_3^4 \Gamma(7/2), \quad (5)$$

где $\Gamma(*)$ – гамма-функция.

Момент четвертого порядка

$$M_1 = 2 / \sqrt{\pi} \sigma_2^{12} K_2^{12} K_3^4 (13/2). \quad (6)$$

Формулы (4)-(6) показывают зависимость плотности распределения, дисперсии и момента четвертого порядка расхода воздуха от параметров устройства. Колебания с равномерной плотностью распределения от усилителя 2 и НУ 5 с плотностью распределения (1) поступают на устройство 6, где формируется композиция законов распределения. На рис. 4 показаны графики плотностей распределения расхода: 1 – равномерного ($E_Q = -1.2$); 2 – нормального ($E_Q = 0$); 3 – нормального и равномерного ($E_Q = -0.5$); 4 – нормального, преобразованного кубической параболой ($E_Q = 43$).

Диапазон изменения эксцесса находится в пределах значений эксцессов первого и второго каналов. Эксцесс первого канала при принятой схеме построения (рис. 3) равен эксцессу генератора 1.

Один из вариантов генератора переменного расхода воздуха, разработанного по предлагаемой схеме, защищён авторским свидетельством на изобретение [9] (на рис. 5а представлена конструкция, на рис. 5б – схема формирования расхода воздуха).

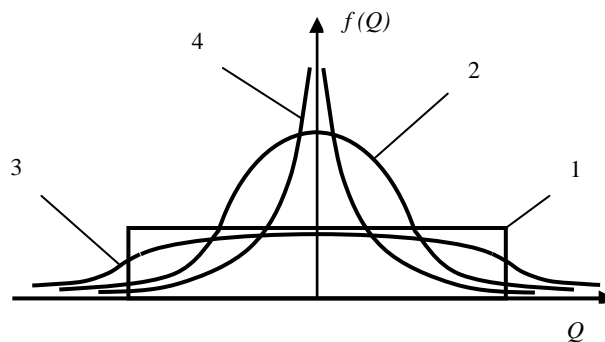


Рисунок 4 – Графики плотности распределения расходов (пояснения в тексте)

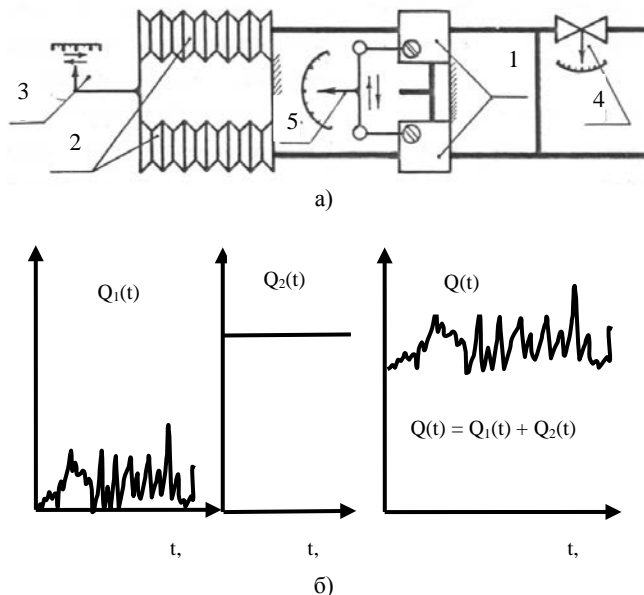


Рисунок 5 – а) – конструкция генератора переменного расхода воздуха с заданными вероятностными характеристиками: 1 – параллельно соединённые пульсаторы, 2 – емкости переменного объёма, 3 – устройство управления величиной объёмов, 4 – вентиль для изменения величины расхода атмосферного воздуха, 5 – шарнирный параллелограмм для изменения частоты подачи порций воздуха в систему; б) – схема формирования расхода воздуха

5. Conclusion/Заключение

В качестве примера приведем результат расчета диапазона изменения эксцесса для некоторых вариантов построения генератора [3,6]. Взяв, исходные генераторы с равномерным распределением и кубический преобразователь, получим изменение эксцесса от -1.2 до -0.6. Генераторы с нормальным распределением и кубическим преобразователем позволяют установить значение эксцесса от 0 до 43. Применение генераторов с равномерным и нормальным распределениями обеспечивает диапазон изменения эксцесса от -1,2 до 43. Этого вполне достаточно для решения большинства вопросов, возникших на данном этапе в процессе исследования и испытания вакуумной системы доильной установки, для управления параметрами впуска воздуха в трубопровод при промывке для формирования пробкового и других режимов движения.

6. Literature/Литература

1. Цой, Ю.А. Процессы и оборудование молочно-доильных отделений животноводческих ферм/ Ю.А. Цой // М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. 424с.
2. Кирсанов, В.В. Основные направления

совершенствования доильного оборудования для доения коров в стойлах и доильных залах / В.В. Кирсанов // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии, 2009. – Т. 20. – № 2. – С. 33–38.

3. Карташов, Л.П. Динамика эмульсий в сложных закрытых каналах технологического оборудования /Л.П.Карташов, Ю.А.Ушаков (глава 1, глава 2, глава 3, глава 4) – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 223 с.

4. А.с. 1061773 СССР, (51) МПК А01J 7/00. Устройство для имитации расхода воздуха доильными аппаратами, подключенными к источнику вакуума / Л.П. Карташов, Ю.А. Ушаков; заявитель Оренбургский сельскохозяйственный институт (SU). – № 3438120/ 30-15; заявл. 14.05.82; опубл. 23.12.83, Бюл. № 47.

5. А.с. 1695856 СССР, (51) МПК А01J 5/00, А01J 7/00. Стенд для исследования элементов вакуумной системы / Л.П. Карташов, И.А. Бунин, Ю.А. Ушаков; заявитель Оренбургский сельскохозяйственный институт (SU). –№ 4794818/ 15; заявл. 20.11.89; опубл. 07.12.91, Бюл. № 45.

6. Ушаков, Ю.А. Генератор переменного расхода воздуха с плавно изменяющейся функцией распределения [Текст] / С.А. Соловьёв, Ю.А. Ушаков, А.Я. Пушко // Техника в сельском хозяйстве. – М., 1995. – № 4. – С. 15–17.

7. Дорохов А.Н., Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалов О.Л. Обеспечение надёжности сложных технических систем. Издательство «Лань». – Санкт-Петербург. – 2011. – 352с.

8. Рогов В.Е., Чернышев В.П., Шахов В.А.. Практикум по основам надёжности сельскохозяйственной техники. Издательский центр ОГАУ. – Оренбург. – 2001. – 78с.

9. Пат. 2099937 Российская Федерация, (51) МПК А01J 5/00, А01J 7/00. Имитатор расхода воздуха [Текст] / Карташов Л.П., Соловьев С.А., Ушаков Ю.А., Пушко А.Я.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» (RU). – № 96101223/ 13; заявл. 16.01.1996; опубл. 27.12.1997, Бюл. № 31.