

DOI 10.33952/2542-0720-2020-4-24-20-28

УДК 631.22; 637.115

Вторый В. Ф., Второй С. В.

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Реферат. Доение – один из важнейших технологических процессов, при выполнении которого происходит непосредственный контакт живого организма коровы с машиной. Несоблюдение условий благоприятного взаимодействия этих двух разных систем приводит к заболеваниям коров, снижению их продуктивности и качества молока и, как следствие, к низкой эффективности производства. Цель исследований – разработка метода диагностики доильных установок с использованием цифровых технологий, позволяющего в реальном времени выявлять нарушения режимов в работе доильных установок, их агрегатов и узлов в процессе эксплуатации. Объектом исследований являются машинные технологии доения коров и закономерности эффективного функционирования технических средств их обеспечения. Методологическую основу исследований составили методы системного и структурного анализа. Методика исследований основана на использовании анализа научных изданий, передового опыта, перспективных технологий и техники на базе цифровых систем мониторинга параметров и управления процессом доения. Разработан метод контроля технического состояния процесса доения с использованием коэффициента стабильности вакуума K . Проведены исследования в условиях действующей молочно-товарной фермы на 200 коров с использованием двухканального переносного электронного устройства для записи параметров процесса доения. Они показали, что коэффициенты стабильности вакуума для линий доильной установки составили $K^n = 0,985–0,989$ при допустимом $K^n_{min} \geq 0,962–0,963$. Для отдельных точек вакуумпроводов и молокопроводов доильной установки коэффициенты составили $K^m = 0,991–0,961$ при $K^m_{min} \geq 0,978–0,977$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что вакуумметрическое давление в вакуумной и молочной линиях относительно стабильно в пределах нормативных значений. В то же время существует нестабильность вакуумметрического давления в отдельных точках трубопроводов доильной установки. Необходимо уделить особое внимание этим участкам при техническом обслуживании. Апробация метода подтвердила его практическую значимость.

Ключевые слова: корова, доильная установка, цифровые технологии, метод, вакуумметрическое давление, диагностика.

Введение

Молоко сельскохозяйственных животных и особенно крупного рогатого скота является важным источником необходимых питательных веществ для человека. В то же время производство молока – это сложный технологический процесс, в котором взаимосвязаны две принципиально разных системы: техническая (машины, оборудование) и биологическая (животное, корова), совокупность которых можно обозначить как биотехническую систему.

Основным технологическим процессом, где непосредственно взаимодействуют машина и животное, является доение. Несоблюдение правил доения ведет к необратимым отрицательным нарушениям здоровья животных снижению их продуктивности. Поэтому контроль процесса доения, своевременное

выявление и устранение сбоев в работе доильного оборудования является важной составляющей обеспечения эффективности производства молока [1].

Современное молочное животноводство характеризуется высокой интенсивностью использования коров. Это способствует снижению сроков продуктивного использования животных. На молочных комплексах с высокой продуктивностью коров выбраковывают через 2,5–3,0 лактации.

Одной из основных причин этого являются заболевания вымени коровы и в первую очередь маститом. Доля маститных коров в стаде может достигать 25–27 %, а снижение продуктивности – 10–25 % [2].

Мастит появляется, в том числе из-за несоблюдения режимов доения, стабильности вакуума в доильных установках. Это можно объяснить возникновением технических неисправностей, связанных с износом вакуумных насосов, регуляторов, вакуумных и молочных трубопроводов, нарушением регулировок в различных устройствах доильных установок [3].

Использование достижений в области информационных технологий создают возможность разработки автоматизированной системы мониторинга процесса доения с оценкой показателей состояния и качества выполнения технологических операций, позволяющих выявить причины отклонения показателей от нормативных, а также оценить последствия таких изменений, определить необходимые меры по устранению имеющихся или прогнозируемых нарушений, минимизировать или исключить ущерб [4, 5].

Параметры и режимы работы доильных установок носят вероятностно-статистический характер. По известным соотношениям и статистическим характеристикам на основе системы алгоритмов контроля технического состояния и технологических параметров доильной установки составляется математическая модель ее функционирования. Поэтому разработка метода диагностики доильных систем с использованием современных измерительных комплексов параметрических показателей процесса доения является важной задачей [6, 7].

Цель исследований – разработать метод диагностики доильных установок с использованием цифровых технологий, позволяющий в режиме реального времени выявлять нарушения режимов в работе доильных установок, их агрегатов и узлов в процессе эксплуатации.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований за период 2015–2019 гг. являлись машинные технологии доения коров и закономерности эффективного функционирования технических средств их обеспечения в сельхозпредприятиях Ленинградской области.

Методологическую основу исследований составили методы системного и структурного анализа. Методика исследований основана на использовании аналитического обзора научных периодических изданий, технических справочников и каталогов, публикаций передового опыта, материалов и каталогов отечественных и зарубежных выставок перспективных технологий и техники для доения коров, цифровых систем мониторинга и измерения параметров процессов, а также управления доильными установками. Это позволило уточнить закономерности, определить основные принципы эффективного функционирования и разработать метод диагностики доильных установок.

Материалы опытно-производственных исследований обрабатывали с использованием методов математической статистики и пакета компьютерных программ на базе Excel [8].

Результаты и их обсуждение

Основными в процессе доения являются операции по созданию необходимого вакуумметрического давления от вакуумного насоса до соска вымени коровы, извлечение и транспортировка молока от коровы до пункта первичной очистки, охлаждения и хранения до отгрузки потребителю. При выполнении процесса доения необходимо обеспечить требования завода-изготовителя технологического оборудования и государственного стандарта, в котором указано, что подсос воздуха в трубопроводах должен быть не более 20 л/мин. Разница вакуумметрического давления в вакуумпроводе – не более 2,5 кПа, молокопроводе – не более 3 кПа при работе всех доильных аппаратов [9].

Результаты проведенных исследований позволили определить основные принципы построения системы технологического мониторинга доильно-молочных систем на фермах КРС (крупного рогатого скота) [10].

В общем виде система диагностики доильной установки состоит (рисунок 1) из блоков параметрических датчиков 4, 6 и 8, с которых информация в режиме реального времени поступает и обрабатывается устройством 9, после чего сохраняется в базе данных 10 и отображается на дисплее оператора 11.

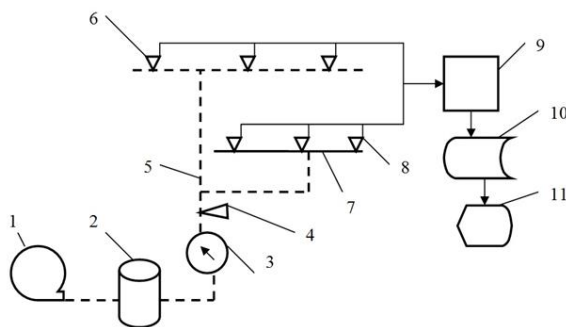


Рисунок 1 – Принципиальная схема доильной установки с датчиками

Примечание. 1 – вакуумный насос; 2 – ресивер; 3 – вакуумный регулятор; 4 – датчик вакуумного регулятора; 5 – вакуумпровод; 6 – блок датчиков на вакуумпроводе; 7 – молокопровод; 8 – блок датчиков на молокопроводе; 9 – устройство обработки данных; 10 – база данных; 11 – дисплей оператора.

Метод контроля технического состояния процесса доения позволяет зафиксировать рабочие значения таких параметров как величины, характера, частоты изменения вакуумметрического давления в вакуумной и молочной системах доильной установки с целью их дальнейшего анализа.

Основными контролируемыми параметрами являются вакуумметрическое давление вакуумпровода P_v кПа и молокопровода P_m кПа за определенный промежуток времени. Необходимым условием выполнения качественного процесса доения является обеспечение заданных параметров вакуумметрического давления с минимальными его отклонениями от нормативных. Это определяет коэффициент стабильности вакуума K , определяемого по формулам 1–3.

$$K = \frac{\bar{P} - \sigma}{\bar{P}}, \quad (1)$$

где \bar{P} – среднее значение вакуумметрического давления за определенный временной промежуток, кПа;

σ – средеквадратическое отклонение вакуумметрического давления за определенный временной промежуток, кПа.

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

где P_i – значение вакуумметрического давления при i -том измерении, кПа;
 n – количество измерений, ед.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

С учетом требований ГОСТ 28545-90 минимально допустимое значение коэффициента стабильности вакуума K_{min}^J для линии рассчитывается по выражению 4, для точки замера K_{min}^T – по выражению 5.

$$K_{min}^J = 0,0008 \bar{P} + 0,928 \quad (4)$$

$$K_{min}^T = 0,0006 \bar{P} + 0,952 \quad (5)$$

Так, коэффициент стабильности вакуума при среднем вакуумметрическом давлении $\bar{P} = 45$ кПа составит 0,964 для линии K_{min}^J , а точки $K_{min}^T = 0,979$.

Апробацию метода проводили в условиях действующей молочно-товарной фермы на 200 коров с привязным содержанием с доильной установкой АДМ-8-200, имеющей две линии, на 100 коров каждая. Доильная установка содержит водокольцевые вакуумные насосы, вакуумрегуляторы, стрелочные вакуумметры, доильные аппараты с коллекторами и пневматическими пульсаторами попарного доения InterPuls L02. Она оснащена системой промывки, сбора и хранения молока.

Параметры процесса доения фиксировали двухканальным переносным электронным устройством, позволяющим фиксировать величину изменения вакуумметрического давления с временным интервалом от 0,1 с до 10 мин для любого типа доильных установок с дальнейшей обработкой полученных результатов на компьютере. При проведении измерений существует возможность визуального контроля текущих параметров. Измерения проводили в восьми точках вакуумпровода и молокопровода каждой линии.

В процессе исследований установлено, что вакуумметрическое давление в линиях доильной установки находится в допустимых пределах. Отклонения составляют на первой линии около ± 1 кПа, на второй линии – $\pm 1,5$ – $1,6$ кПа (рисунок 2, 3). Пониженный вакуум наблюдался на первой линии, что можно объяснить большей удаленностью от вакуумного насоса и подсосами воздуха в кранах для подключения доильных аппаратов.

На линии 1 доильной установки (рисунок 2) при среднем вакуумметрическом давлении в вакуумпроводе $\bar{P}_в = 42,7$ кПа минимальное значение составило 41,8 кПа, а максимальное значение – 43,4 кПа. Коэффициент стабильности вакуума составил $K_{в}^J = 0,989$ при минимально допустимом значении $K_{min}^J = 0,962$. В молокопроводе при среднем вакуумметрическом давлении $\bar{P}_м = 41,4$ кПа его значения изменялись от 40,5 до 42,2 кПа. Коэффициент стабильности вакуума составил $K_{м}^J = 0,987$ при минимально допустимом значении $K_{min}^J = 0,961$.

На линии 2 доильной установки (рисунок 3) при среднем вакуумметрическом давлении в вакуумпроводе $\bar{P}_в = 44,0$ кПа минимальное значение составило 42,1 кПа, а максимальное значение – 45,4 кПа. Коэффициент стабильности вакуума составил $K_{в}^J = 0,985$ при минимально допустимом значении $K_{min}^J = 0,963$. В молокопроводе при среднем вакуумметрическом давлении $\bar{P}_м = 42,7$ кПа его значения изменялись от 40,9 до 44,0 кПа. Коэффициент стабильности вакуума составил $K_{м}^J = 0,977$ при минимально допустимом значении $K_{min}^J = 0,962$.

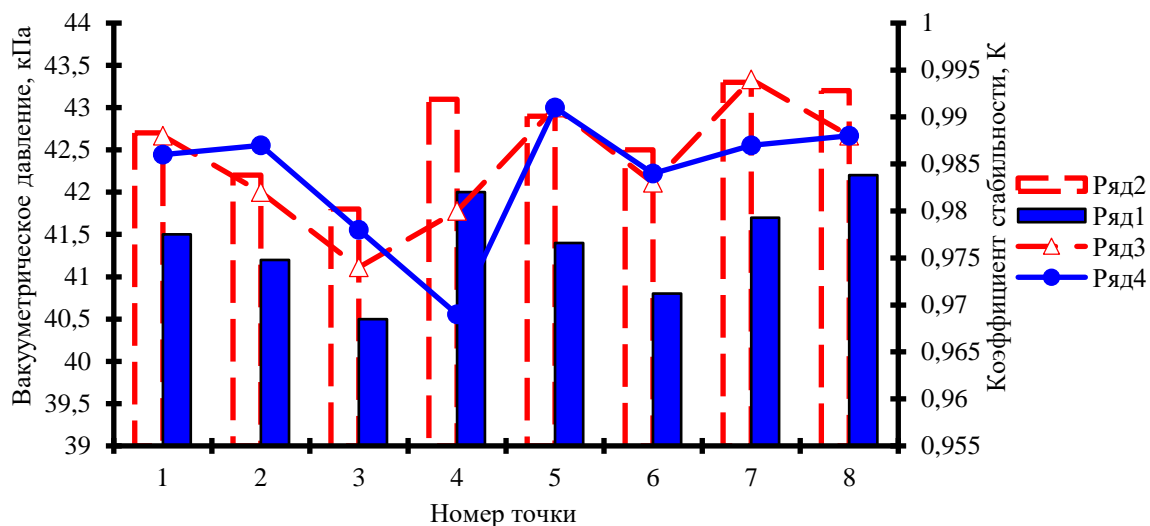


Рисунок 2 – Вакуумметрическое давление и коэффициент стабильности вакуума в линии 1

Примечание. ряд 1 – вакуумметрическое давление (кПа) в молокопроводе; ряд 2 – вакуумметрическое давление (кПа) в вакуумпроводе; ряд 3 – коэффициент стабильности вакуума в вакуумпроводе; ряд 4 – коэффициент стабильности вакуума в молокопроводе.

Результаты исследований вакуумпровода и молокопровода показывают, что минимальные и максимальные значения вакуумметрического давления в них не превышают допустимых значений и вакуумметрическое давление в вакуумной и молочной линиях относительно стабильно также в пределах нормативных значений.

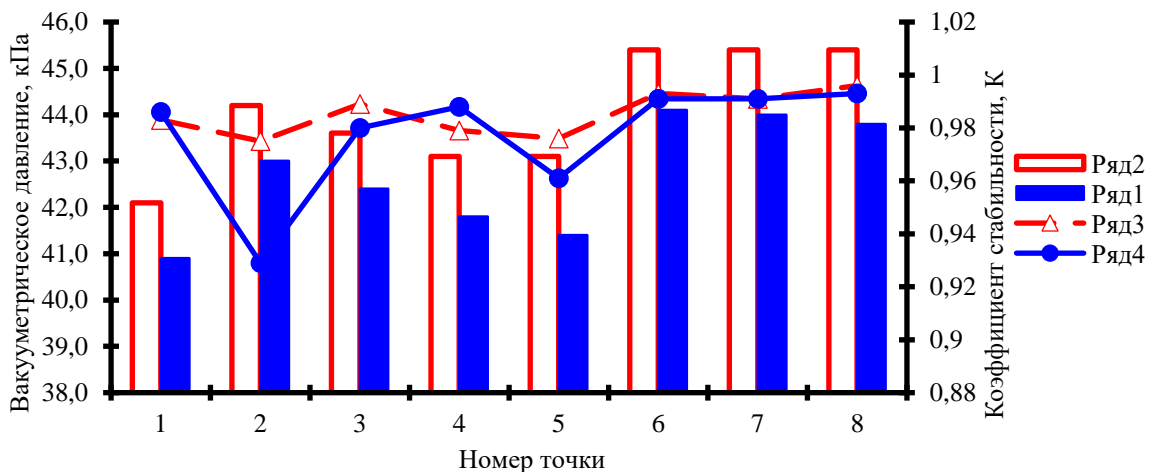


Рисунок 3 – Вакуумметрическое давление и коэффициент стабильности вакуума в линии 2

Примечание. ряд 1 – вакуумметрическое давление (кПа) в молокопроводе; ряд 2 – вакуумметрическое давление (кПа) в вакуумпроводе; ряд 3 – коэффициент стабильности вакуума в вакуумпроводе; ряд 4 – коэффициент стабильности вакуума в молокопроводе.

На рисунках 4 и 5 представлены графики изменения вакуумметрического давления в точках 5, соответствующих точкам, показанным на рисунках 2 и 3.

В точке 5 линии 1 доильной установки (рисунок 4) за период измерений вакуумметрическое давление в вакуумпроводе имело значения от 42,7 кПа до

43,4 кПа при среднем значении 42,9 кПа и коэффициенте стабильности вакуума $K^T_{\text{в}} = 0,991 > K^T_{\text{мин}} = 0,978$. В молокопроводе вакуумметрическое давление изменялось от 41,0 до 41,7 кПа при среднем значении 41,4 кПа и коэффициенте стабильности вакуума $K^T_{\text{м}} = 0,991 > K^T_{\text{мин}} = 0,977$, что свидетельствует о стабильности процесса в данной точке.

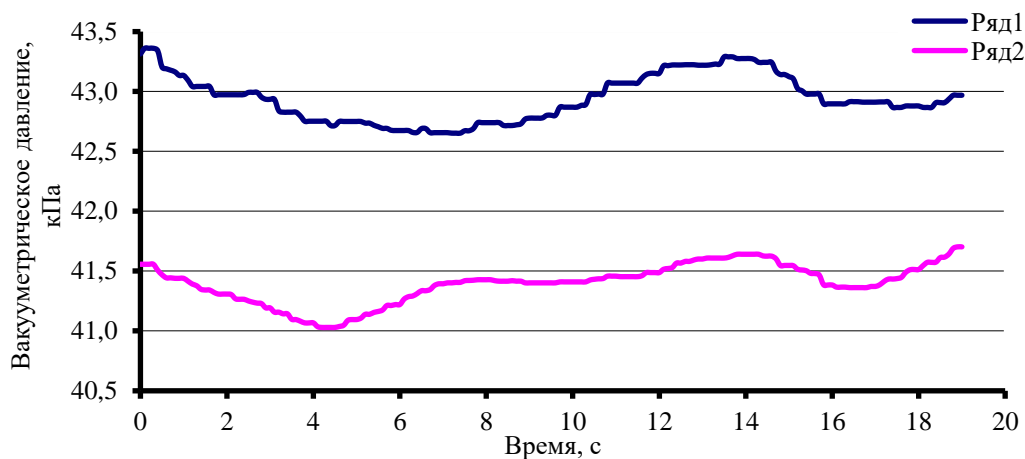


Рисунок 4 – Изменение вакуумметрического давления в точке 5 линии 1

Примечание. ряд 1 – изменение вакуумметрического давления (кПа) в вакуумпроводе; ряд 2 – изменение вакуумметрического давления (кПа) в молокопроводе.

В точке 5 линии 2 доильной установки (рисунок 5) за период измерений вакуумметрическое давление в вакуумпроводе имело значения от 42,4 кПа до 44,4 кПа при среднем значении 41,3 кПа и коэффициенте стабильности вакуума $K^T_{\text{в}} = 0,976 < K^T_{\text{мин}} = 0,978$. В молокопроводе вакуумметрическое давление изменялось от 39,6 до 42,8 кПа при среднем значении 41,4 кПа и коэффициенте стабильности вакуума $K^T_{\text{м}} = 0,961 < K^T_{\text{мин}} = 0,977$.

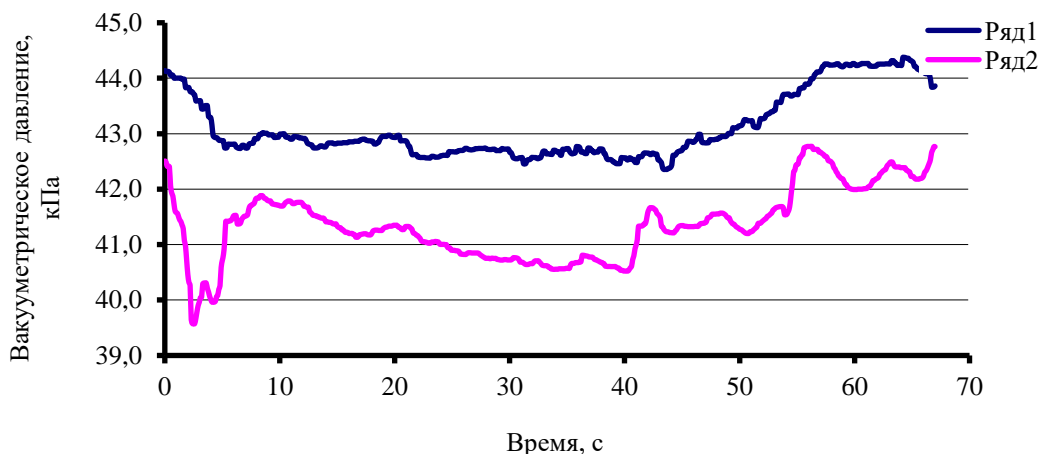


Рисунок 5 – Изменение вакуумметрического давления в точке 5 линии 2

Примечание. ряд 1 – изменение вакуумметрического давления (кПа) в вакуумпроводе; ряд 2 – изменение вакуумметрического давления (кПа) в молокопроводе.

Полученные данные свидетельствует о нестабильности вакуумметрического давления в точке 5 линии 2 доильной установки и требуют к этому участку особого внимания и дополнительного контроля технического состояния и обслуживания.

Выводы

Разработанный метод диагностики доильных установок с использованием цифровых систем мониторинга для измерения параметров и режимов работы доильных систем в процессе доения обеспечивает своевременный контроль и выявление нарушений технологии, что способствует своевременному устранению неисправностей оборудования.

Основу метода составляет контроль технического состояния процесса доения с фиксацией в электронном виде рабочих значений, характера и частоты изменения вакуумметрического давления с дальнейшим компьютерным анализом, определением коэффициента стабильности вакуума и соответствия его минимально допустимым значениям, определяемым по предложенным зависимостям.

Апробация метода в условиях молочно-товарной фермы крупного рогатого скота показала, что коэффициенты стабильности вакуума для линий доильной установки составляют $K^1 = 0,985-0,989$ при допустимых значениях $K^1_{\min} \geq 0,962-0,963$, что свидетельствует о стабильности вакуума в линиях. В отдельных точках вакуумпроводов и молокопроводов доильной установки коэффициенты имели значения $K^T = 0,991-0,961$ при $K^T_{\min} \geq 0,978-0,977$, что свидетельствует о нестабильности вакуума в ряде точек. В этом случае требуется техническое обслуживание этого оборудования.

Литература

1. Вторый В. Ф., Вторый С. В. Автоматизированный контроль режима работы доильных установок // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции «Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем». Ч. 2. М: ВИМ, 2012. С. 662–666.
2. Ивашкевич О. П., Богущ А. А., Иванов В. Е., Лучко И. Т. Проблема мастита у коров на современных молочных комплексах // Материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. С. 315–318.
3. Климов Н. Т. Профилактика мастита у коров при машинном доении // Труды XIV Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных. Углич, 2008. С. 398–402.
4. Вторый В. Ф., Вторый С. В. Система технологического мониторинга производства молока на ферме КРС // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 2(6). С. 20–25.
5. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Папушин Э. А. Технологический мониторинг доильных установок: монография. Варшава: Институт технологических и естественных наук в Фолентах, 2012. С. 283–285.
6. Кирсанов В. В. Метод комплексной диагностики доильной установки как сложной биотехнической системы // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 1. С. 96–101.
7. Reinemann D. J., Mein G. A., Ruegg P. L., Evaluating milking machine performance. [Oral report] // Milking Research and Instruction Lab Paper presented at the VII International Congress on Bovine Medicine University of Wisconsin. Madison, Oviedo, Asturias, Spain. 2001.
8. Валге А. М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства (методическое пособие). СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2013. 200 с.
9. ГОСТ 28545-90 (ИСО 5707-83). Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика. М.: Издательство стандартов, 1997. 28 с.
10. Вторый С. В., Вторый В. Ф. Алгоритм управления машинным доением коров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 1 (94). С. 134–143. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10020.

References

1. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. Automated control of the operating mode of milking machines // Collection of reports of XII International Scientific and Technical Conference “Modernization of agricultural production based on innovative machine technologies and automated systems”. Part 2. Moscow: All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, 2012. P. 662–666.

2. Ivashkevich O. P., Bogush A. A., Ivanov V. E., Luchko I. T. The problem of mastitis in cows in modern dairy complexes // Materials of XVI International Symposium on machine milking of farm animals. Minsk: Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, 2012. P. 315–318.
3. Klimov N. T. Prevention of mastitis in cows under conditions of machine milking // Proceedings of XIV International Symposium on machine milking of farm animals. Uglich, 2008. P. 398–402.
4. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. System technology production monitoring milk on the farm cattle // Journal of VNIIMZH. 2012. No. 2(6). P. 20–25.
5. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Papushin E. A. Technological monitoring of milking machines: monograph. Warsaw: Institute of Technology and Life Sciences (ITP) in Falenty, 2012. P. 283–285.
6. Kirsanov V. V. A method for the comprehensive diagnosis of a milking unit as a complex biotechnological system // Transactions of GOSNITI. 2016. Vol. 124. No. 1. P. 96–101.
7. Reinemann D. J., Mein G. A., Ruegg P. L. Evaluating milking machine performance. [Oral report] // Milking Research and Instruction Lab Paper presented at the VII International Congress on Bovine Medicine University of Wisconsin. Madison, Oviedo, Asturias, Spain, 2001.
8. Valge A. M. Application of Excel and Mathcad in investigations associated with mechanization of agricultural production. Saint Petersburg: North-West Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2013. 200 p.
9. GOST 28545-90 (ISO 5707-83). Milking machine installations. Construction and performance. Moscow: Publishing house of standards, 1997. 28 p.
10. Vtoryi S. V., Vtoryi V. F. Control algorithm of machine milking of cows // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. No. 1(94). P. 134–143. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10020.

UDC 631.22; 637.115

Vtoryi V. F., Vtoryi S. V.

DIAGNOSTIC METHOD OF MILKING SYSTEMS USING DIGITAL TECHNOLOGIES

Summary. *Milking is one of the essential technological processes when the direct contact of the cow living organism with the machine takes place. Failure to comply with the requirements of favourable interaction between these two different systems leads to cow diseases, lower productivity and milk quality, and, consequently, poorer production efficiency. The purpose of the study was to develop a method for the diagnostics of milking systems using digital technologies, which would allow the real-time detecting of operational disturbances of milking machines, their units, and blocks. The study object was machine milking of cows and the effective functioning of equipment. The methodological basis of the study was the methods of systemic and structural analysis. The study methodology included the survey of scientific publications, best practices, promising technologies and equipment based on digital systems for parameter monitoring and milking controlling. A method was developed for monitoring the technical status of the milking process using the vacuum stability coefficient K . Investigations were carried out on an operating dairy farm for 200 cows using a two-channel portable electronic device for recording the milking process parameters. They showed that the vacuum stability coefficients for the milking unit lines were $K^l = 0.985–0.989$ with an acceptable $K^l_{min} = 0.962–0.963$. For individual points of the vacuum lines and milk lines of the milking unit, the coefficients were $K^l = 0.991–0.961$ with $K^l_{min} = 0.978–0.977$. The results obtained indicated that the vacuum gauge pressure in the vacuum and milk lines was relatively stable within the standard value range. At the same time, there was the instability of vacuum pressure at individual points in the pipelines of the milking unit. Special attention must be paid to these areas during maintenance. Testing of the method proved its practical significance.*

Keywords: *cow, milking system, digital technology, methods, vacuum gauge pressure, diagnostics.*

Вторый Валерий Федорович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 196625, г. Санкт-Петербург–Павловск, Филътровское шоссе, 3; e-mail: vvtoryj@yandex.ru.

Вторый Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 196625, г. Санкт-Петербург–Павловск, Филътровское шоссе, 3; e-mail: 2vt_1981@list.ru.

Vtoryi Valerii Fedorovich, Dr. Sc. (Tech.), chief researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (IEEP – branch of FSAC VIM); 3, Filtrovskoe Shosse, village of Tiarlevo, Saint-Petersburg, 196625, Russia; e-mail: vvtoryj@yandex.ru.

Vtoryi Sergei Valerievich, Cand. Sc. (Tech.). senior researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (IEEP – branch of FSAC VIM); 3, Filtrovskoe Shosse, village of Tiarlevo, Saint-Petersburg, 196625, Russia; e-mail: 2vt_1981@list.ru.

Дата поступления в редакцию – 29.06.2020.

Дата принятия к печати – 12.10.2020