

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 637.11:631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-23-27

**Оценка надежности доильных установок на основании анализа их отказов**

Максим Михайлович Маслов[✉], старший преподаватель
mslvmax@bk.ru[✉]; <http://orcid.org/0000-0003-4857-6044>

Александр Евгеньевич Крупин, канд. техн. наук, доцент
krupin-ngiei@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7497-353X>

Владимир Юрьевич Матвеев, канд. техн. наук, доцент
matveev_ngiei@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1837-8285>

Евгений Борисович Миронов, канд. техн. наук, доцент
mironov-e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7842-0377>

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; 606340, Российская Федерация, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 А

Аннотация. Доильно-молочное оборудование ряда предприятий страны является сильно изношенным. Износ доильного оборудования связан с несоблюдением его технического обслуживания и ремонта. Для оценки надежности отдельных элементов и систем доильных установок на производстве и определения направлений улучшения их эксплуатационных характеристик проведен анализ соответствующего оборудования предприятий Лысковского района Нижегородской области, использующих в своем производстве наиболее распространенные доильные установки линейного типа. Проведен анализ отказов и времени, затрачиваемого на обеспечение работоспособности систем доильных установок. В результате исследования получена структура отказов по различным системам и элементам доильных установок. Рассчитаны значения единичных показателей надежности – наработки на отказ и параметра потока отказов. Определено значение коэффициента готовности, характеризующего одновременно безотказность и ремонтпригодность. Расчет показателей надежности доильных установок показал, что наибольшее количество отказов доильных установок линейного типа приходится на доильные аппараты (41,2%), на систему первичной обработки молока (16,5%) и вакуумную систему (11,3%). В вакуумной системе большая часть отказов приходится на вакуумный регулятор (54,5%). В молочной системе уязвимыми элементами являются групповые счетчики. В доильных аппаратах на доильные стаканы приходится 45% отказов, в которых интенсивно изнашивается сосковая резина. Наименьшая наработка на отказ у доильных аппаратов и молочной системы свидетельствует о необходимости совершенствования их конструкций и системы технического сервиса. Для элементов систем первичной обработки молока, промывки доильного оборудования и вакуумной системы время устранения отказов составляет более 2 ч, поэтому рекомендуется организовать обменный фонд запасных частей и агрегатный метод ремонта.

Ключевые слова: доильно-молочное оборудование, коэффициент готовности, показатели надежности доильных установок, наработка на отказ, распределение потока отказов

Формат цитирования: Маслов М.М., Крупин А.Е., Матвеев В.Ю., Миронов Е.Б. Оценка надежности доильных установок на основании анализа их отказов // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 1. С. 23-27. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-23-27.

© Маслов М.М., Крупин А.Е., Матвеев В.Ю., Миронов Е.Б., 2023

ORIGINAL PAPER

Evaluation of the reliability of milking machines based on the analysis of their failures

Maksim M. Maslov[✉], senior lecturer

mslvmax@bk.ru[✉]; <http://orcid.org/0000-0003-4857-6044>

Aleksandr E. Krupin, CSc (Eng), Associate Professor
krupin-ngiei@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7497-353X>

Vladimir Yu. Matveev, CSc (Eng), Associate Professor
matveev_ngiei@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1837-8285>

Evgeny B. Mironov, CSc (Eng), Associate Professor
mironov-e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7842-0377>

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics; 606340, Russian Federation, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya Str., 22 A

Abstract. The milking and dairy equipment of a number of domestic enterprises is very worn out. The wear of milking equipment is caused by non-compliance with their maintenance and repair. To assess the reliability of individual elements and systems

of milking machines used in production and to determine the ways to improve their operational characteristics, the authors analyzed the operation of enterprises located in the the Lyskovo district of the Nizhny Novgorod region using the most common linear milking machines. They analyzed failures and the time spent on ensuring the operability of milking systems. As a result of the study, the structure of failures for various systems and elements of milking machines was determined. The study determined the values of individual reliability indicators – operating time for failure and the failure flow parameter. The value of the availability coefficient, which characterizes both reliability and maintainability, was determined. The analysis of the reliability indicators of milking units showed that the largest number of failures of linear milking units falls on milking machines (41.2%), on the primary milk processing system (16.5%) and the vacuum system (11.3%). In the vacuum system, most of the failures are associated with the vacuum regulator (54.5%). In the dairy system, group counters are vulnerable elements. In milking machines, faulty teat cups account for 45% of failures, in which the nipple rubber wears out intensively. The lowest operating time for failure of milking machines and the dairy system indicates the need to improve their designs and the system of technical service. For elements of primary milk processing systems, the washing of milking equipment, and the vacuum system, the time required to eliminate failures is more than two hours, therefore, it is recommended to organize an exchange pool of spare parts and a modular repair method.

Keywords: milking and dairy equipment, availability coefficient, reliability indicators of milking units, operating time for failure, distribution of the failure flow

For citation: Maslov M.M., Krupin A.E., Matveev V.Yu., Mironov E.B. Evaluation of the reliability of milking machines based on the analysis of their failures. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(1): 23-27. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-23-27>.

Введение. На современном этапе всё товарное молоко от коров получают при помощи машинного доения. Доильно-молочное оборудование как в целом по стране, так и в Лысковском районе Нижегородской области, несмотря на частичное перевооружение молочных ферм является сильно изношенным.

Износ доильно-молочного оборудования связан с несоблюдением планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, что напрямую зависит от высокой стоимости технического сервиса, осуществляемого дилерами, и удаленного расположения сервисных служб. Расположение сервисных служб в областных центрах лишает возможности сельхозтоваропроизводителям оперативно пользоваться современными средствами диагностирования и технического обслуживания, поэтому весь сервис доильных установок сводится к проведению ремонта после отказа.

В случае возникновения отказов элементов и систем доильного оборудования нарушается процесс доения, что негативно отражается на организме животного и приводит к недополучению молока, самозапуску и различным болезням вымени (мастит). Согласно данным зоотехнии¹ нарушение режима доения коров (в частности, отклонение от распорядка дня) снижает удой по всему поголовью на 6...10%.

При задержке доения на несколько часов (между доениями – 14 ч и более) начинается обратный процесс – всасывание компонентов молока из вымени обратно в кровь (ресорбция)².

Для максимального экономического эффекта при производстве молока необходимы четкое соблюдение

распорядка дня и недопущение задержки доения – в частности, по причине отказов доильного оборудования.

Цель исследований: оценка надежности отдельных элементов и систем доильных установок с целью поиска направлений улучшения их эксплуатационных характеристик на производстве.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись показатели надежности доильных установок – сложного технологического оборудования, состоящего из множества систем и подсистем.

Надежность технологического оборудования определяется надежностью составляющих его систем. На товарно-молочных фермах Лысковского района Нижегородской области за 2021 г. учитывались параметры отказов по доильным установкам линейного типа. Для оценки надежности доильных установок по каждой из них была составлена ведомость отказов за 2021 г. с указанием элемента и системы, а также времени устранения отказа. Отказы структурировались по функциональным признакам и объединялись в группы с целью оценки надежности отдельных систем доильных установок.

Сбор и обработка информации о надежности изделий в эксплуатации осуществлялись согласно РД 50-204-87 на основании опросных листов. Объем выборки составил 10 молочно-товарных ферм, оборудованных доильными установками линейного типа. Все рассмотренные доильные установки относятся к линейному типу и обслуживают от 144 до 188 гол.

Согласно рекомендациям по сбору информации РД 50-204-87 рассчитываем продолжительность наблюдений T :

$$T = \frac{\chi \cdot \bar{T}_0}{N},$$

где χ – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности γ и относительной ошибки δ (при $\gamma = 0,90$

¹ Зоотехния как наука и основные задачи курса. Причины снижения молочной продуктивности коров <https://cyberpedia.su/11x9ca1.html> (дата обращения: 28.06.2022).

² Молокообразование и молоковыделение у животных https://itexn.com/135_molokoobrazovanie-i-molokovyvedenie-u-zhivotnyh.html (дата обращения: 28.06.2022).

и $\delta = 0,15 \chi = 88$)³; \bar{T}_0 – средняя наработка на отказ ($\bar{T}_0 = 39,25$ сут.); N – число объектов ($N = 10$).

Для заданных условий продолжительность наблюдений составила 345,4 сут. Принимаем период наблюдений, равный 1 году.

Результаты и их обсуждение. Доильно-молочное оборудование в Лысковском районе Нижегородской области является сильно изношенным. Результаты обобщенных, структурированных и систематизированных данных о потоках отказов представлены в таблице 1.

Согласно полученным данным среднее количество отказов, приходящихся на одну доильную установку, составило 32,3 ед., затраты времени на устранение отказов – 23,6 ч. Из общего числа элементов доильной установки наибольшее количество отказов зафиксировано у групповых счетчиков и доильных стаканов – 18,6%. Наиболее трудоемкими являются отказы вакуумного насоса (28,2%) и молокоочистители сепараторного типа (19,8%).

Наибольшее количество отказов доильных установок линейного типа приходится на доильные аппараты (в среднем 41,2%), систему первичной обработки молока (в среднем 16,5%) и вакуумную систему – 11,3% (рис. 1). Это свидетельствует о том, что именно от надежности трех данных систем напрямую зависит эффективность использования доильной установки в целом.

Согласно распределению потока отказов внутри систем доильной установки (рис. 2) в вакуумной системе больше половины отказов пришлось на вакуумный регулятор (54,5%), что в большей степени обусловлено износом оборудования. В молочной системе наиболее уязвимыми элементами являются групповые счетчики, так как это электронные приборы, работающие во влажной среде. В доильных аппаратах наиболее уязвимыми являются доильные стаканы (45% отказов), в которых интенсивно изнашивается сосковая резина [1, 2].

Таблица 1. Параметры поэлементного потока отказов доильных установок молочно-товарных ферм Лысковского района Нижегородской области

Table 1. Parameters of the element-by-element failure flow of milking units of dairy farms of the Lyskovsky district of the Nizhny Novgorod region

Наименование элементов доильной установки <i>Name of the elements of the milking unit</i>	Среднее количество отказов <i>Average number of failures</i>		%	Среднее время устранения отказа <i>Average time to eliminate a failure</i>		%
	единиц, ед. <i>units</i>	% внутри системы <i>% inside the system</i>		единиц, ч <i>units</i>	% внутри системы <i>% inside the system</i>	
Вакуумная система / <i>Vacuum system</i>	3,7	–	11,3	9,1	–	38,3
Вакуумный насос / <i>Vacuum pump</i>	1,0	27,3	3,1	6,7	73,6	28,2
Вакуумный баллон / <i>Vacuum cylinder</i>	0,3	9,1	1,0	2,0	22,1	8,5
Вакуум провод / <i>Vacuum line</i>	0,3	9,1	1,0	0,1	1,5	0,6
Вакуумный регулятор / <i>Vacuum regulator</i>	2,0	54,5	6,2	0,3	2,8	1,1
Молочная система / <i>Dairy system</i>	6,7	–	20,6	1,4	–	5,9
Молокопровод / <i>Milk pipeline</i>	0,3	5	1,0	0,1	4,8	0,3
Групповые счетчики молока / <i>Group milk counters</i>	6,0	90	18,6	1,2	83,3	4,9
Молокосборник / <i>Milk collector</i>	0,3	5	1,0	0,2	11,9	0,7
Доильный аппарат / <i>Milking machine</i>	13,3	–	41,2	3,5	–	15,0
Пульсатор / <i>Pulsator</i>	4,0	30	12,4	0,1	3,1	0,5
Коллектор / <i>Collector</i>	1,7	12,5	5,2	0,1	1,6	0,2
Доильные стаканы / <i>Milking cups</i>	6,0	45	18,6	0,4	10,4	1,6
Комплект шлангов / <i>Hose kit</i>	1,7	12,5	5,2	3,0	84,9	12,7
Система первичной обработки молока <i>Primary milk processing system</i>	5,3	–	16,5	7,3	–	31,0
Молокоочиститель / <i>Milk cleaner</i>	1,7	31,25	5,2	4,7	63,6	19,8
Танк-охладитель / <i>Cooler tank</i>	3,7	68,75	11,3	2,7	36,4	11,3%
Система промывки / <i>Flushing system</i>	2,0	–	6,2	2,2	–	9,2
Прочие отказы / <i>Other failures</i>	1,3	–	4,1	0,1	–	0,6
Итого / <i>Total</i>	32,3		100,0	23,6		100,0

³ Шeko T.C. Сбор и обработка информации о надежности изделий в эксплуатации: Методические указания. М.: Изд-во стандартов, 1987. 15 с.

Показатели надежности доильных установок: параметры потока отказов w , наработка на отказ T_o и коэффициент готовности K_g – выявляют наиболее уязвимые элементы установки. Первые два показателя являются единичными показателями безотказности, а коэффициент готовности относится к категории комплексных показателей надежности и применяется при оценке таких свойств, как безотказность и ремонтпригодность одновременно. Минимальные значения параметра потока отказов будут свидетельствовать о наиболее высоком уровне надежности анализируемой системы. Нарработка на отказ и коэффициент готовности имеют обратный характер при оценке уровня надежности системы.

Расчет показателей надежности производился на основании рекомендаций^{4,5} [3-6].

Анализ показателей надежности элементов доильной установки показал, что наименее надежны доильные аппараты ($w = 0,11$ отк/сут.), но за счет достаточно быстрого

устранения отказов коэффициент готовности, равный 0,6717, не является самым минимальным. Обратный же результат показывает система первичной обработки молока. При наработке на отказ 22,8 сут. коэффициент готовности составляет всего 0,6340.

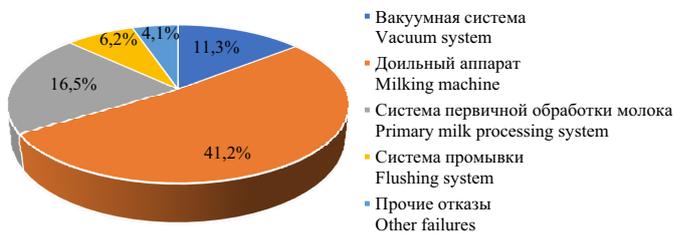


Рис. 1. Распределение потока отказов по системам доильных установок
Fig. 1. Distribution of the failure flow over different milking unit systems

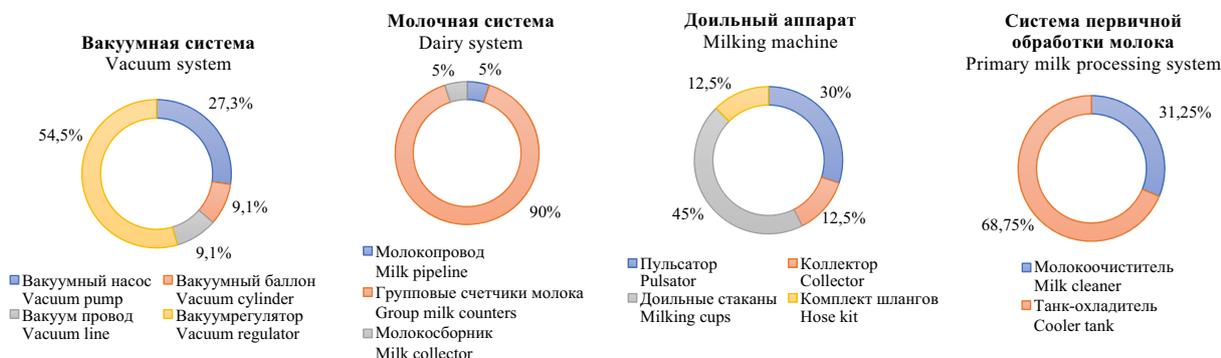


Рис. 2. Распределение потока отказов внутри систем доильной установки
Fig. 2. Distribution of the failure flow inside the milking plant systems

Таблица 2. Показатели надежности элементов доильной установки
Table 2. Reliability indicators of the milking unit elements

Наименование систем доильной установки <i>Name of milking unit systems</i>	Параметр потока отказов, w , отк/сут. <i>Failure flow parameter, w, failure/day</i>	Наработка на отказ, T_o , сут. <i>Time to failure, T_o, days</i>	Коэффициент готовности, K_g <i>Availability factor K_g</i>
Вакуумная система / <i>Vacuum system</i>	0,030	33,2	0,8389
Молочная система / <i>Dairy system</i>	0,055	18,3	0,9371
Доильный аппарат / <i>Milking machine</i>	0,110	9,1	0,6717
Система первичной обработки молока / <i>Primary milk processing system</i>	0,044	22,8	0,6340
Система промывки / <i>Flushing system</i>	0,016	60,8	0,9898
Прочие отказы / <i>Other failures</i>	0,011	91,3	0,9997

Выводы

Данные о потоке эксплуатационных отказов элементов доильной установки позволяют оценить уровень ее надежности.

⁴ Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 320 с.

⁵ Половко А.М., Гуруев С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с

Для элементов, имеющих время устранения отказов более 2 ч (системы первичной обработки молока, промывки доильного оборудования и вакуумная система), рекомендуется организовать обменный фонд запасных частей и агрегатный метод ремонта.

Наименьшая наработка на отказ у доильных аппаратов и молочной системы свидетельствует о необходимости совершенствования их конструкции и системы технического сервиса.

Список использованных источников

1. Матвеев В.Ю., Крупин А.Е., Силантьев Е.В. Влияние отказов доильных установок на эффективность машинного доения // *Агротехника и энергообеспечение*. 2018. № 1(18). С. 6-15.
2. Борознин А.В., Ряднов А.И. Классификация и характеристика отказов доильно-молочного оборудования // *Успехи современной науки*. 2017. Т. 4, № 4. С. 173-177. EDN: YROOUP.
3. Сугак Е.В. Надежность техники. Теоретические основы. Ч. 1. Lambert Academic Publishing, 2014. 410 с.
4. Дорохов А.Н., Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Обеспечение надежности сложных технических систем: Учебник. СПб.: Лань, 2011. 352 с.
5. Борознин В.А., Борознин А.В., Бобылев Ю.В. Техническое и функциональное состояние доильных установок в реальных условиях эксплуатации // *Международный технико-экономический журнал*. 2009. № 4. С. 35-37. EDN: LSQIGF.
6. Морозов Н.М. Факторы и условия повышения эффективности производства продукции животноводства // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. № 2(26). С. 70-79. EDN: YTNKVR.

Вклад авторов

М.М. Маслов – постановка проблемы, разработка концепции статьи, анализ литературы и сбор статистических данных, описание результатов и формирование выводов исследования.
 А.Е. Крупин – анализ и доработка текста.
 В.Ю. Матвеев – научное руководство.
 Е.Б. Миронов – табличное и графическое представление результатов.
 М.М. Маслов, А.Е. Крупин, В.Ю. Матвеев, Е.Б. Миронов имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.07.2022; поступила после рецензирования и доработки 12.12.2022; принята к публикации 22.12.2022

References

1. Matveev V.Yu., Krupin A.E., Silantyev E.V. Influence of failures of milking machines on the efficiency of machine milking. *Agrotechnika i energosnabzhenie*. 2018;1(18):6-15. (In Rus.)
2. Boroznin A.V., Ryadnov A.I. Classification and characteristics of failures of milking and dairy equipment. *Modern Science Journal*. 2017;4(4):173-177. (In Rus.)
3. Sugak E.V. Reliability of equipment. Theoretical foundations. Part 1. Lambert Academic Publishing, 2014. 410 p.
4. Dorokhov A.N., Kernozhitsky V.A., Mironov A.N., Shestopalova O.L. Ensuring the reliability of complex technical systems: textbook. SPb.: Lan, 2011. 352 p. (In Rus.)
5. Boroznin V.A., Boroznin A.V., Bobylev Yu.V. Technical and functional condition of milking machines in real operating conditions. *International Technical and Economic Journal*. 2009;4:35-37. (In Rus.)
6. Morozov N.M. Factors and conditions for increasing the efficiency of livestock production. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization*. 2017;2:70-79. (In Rus.)

Contribution

M.M. Maslov – problem definition, conceptualization, literature analysis, statistical data collection, description of the results and formulation of conclusions
 A.E. Krupin – text analysis and revision.
 V.Yu. Matveev – research supervision.
 E.B. Mironov – tabular and graphical presentation of the results.
 M.M. Maslov, A.E. Krupin, V.Yu. Matveev, E.B. Mironov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received 15.07.2022; revised 12.12.2022; accepted 22.12.2022