УДК 636.2.034:[637.112+637.115]
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-177-5-15-19

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

К.В. Король,
ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

Д.А. Григорьев,
зав. каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Разработан алгоритм выбора параметров машинного доения коров с цифровым управлением дифференцированной динамической пульсацией. Алгоритм позволяет выбирать значения потока молока для включения машинной стимуляции через 30 с после подключения аппарата, динамического изменения длительности такта сосания в диапазоне от 600 до 1070 мс и автоматического прекращения доения при снижении скорости молокоотдачи до установленного значения. Выбор параметров основан на определении математических зависимостей между среднесуточным удоем, средней и максимальной скоростью молокоотдачи, а также разностью между данными показателями. Практическое применение алгоритма направлено на обоснованный выбор параметров работы доильного аппарата в системах с цифровым управлением с учетом продуктивности и особенностей молокоотдачи коров конкретного стада.

Ключевые слова: адаптивное доение коров, скорость молокоотдачи, машинная стимуляция, динамическая пульсация, длительность тактов.

An algorithm is developed for selecting cow machine-milking parameters using digitally controlled dynamic differential pulsation. It enables the selection of milk-flow thresholds for initiating machine stimulation 30 seconds after attachment of the milking unit, dynamically adjusting the duration of the milking phase within a range of 600–1070 m/s, and automatically terminating milking when the milk flow rate falls to set value. Parameter selection is based on mathematical relationships between average daily milk yield, average and peak milk flow rates, and the difference between the latter two indicators. The algorithm is intended to support evidence-based selection of milking-unit settings in digitally controlled milking systems, taking into account the productivity and milk-flow characteristics of cows in a particular herd.

Keywords: Adaptive milking of cows; milk flow rate; machine stimulation; dynamic pulsation; pulsation phase duration.

Введение

Развитие молочного животноводства базируется на широком внедрении автоматизированных систем управления стадом и доильным оборудованием. Такие системы обеспечивают регистрацию показателей удоя, продолжительности доения, средней и максимальной скорости молокоотдачи, а также позволяют изменять отдельные параметры работы доильной установки. Однако эффективность применения автоматизированного оборудования определяется не только его техническими возможностями, но и обоснованностью выбора устанавливаемых режимов доения [1].

Скорость молокоотдачи является важным технологическим показателем, отражающим особенности реакции животного на доильный процесс, интенсивность выделения молока и характер прохождения отдельных фаз доения. Использование единых, установленных изготовителем пороговых значений скорости молокоотдачи не всегда учитывает различия между стадами по уровню продуктивности, составу животных и физиологическим особенностям молоковыведения [2].

В начале доения у части коров может наблюдаться недостаточная интенсивность потока молока, обусловленная задержкой рефлекса молокоотдачи. Эта проблема связана с преждевременным надеванием доильного аппарата или, напротив, слишком малым временем подготовки вымени к доению. В этом случае целесообразно применение машинной стимуляции [3]. В период максимального потока молока возникает необходимость согласования параметров пульсации с интенсивностью молоковыведения, тогда как в завершающей фазе доения важно своевременно уменьшить воздействие вакуума и прекратить работу аппарата. Следовательно, параметры машинного доения должны изменяться в соответствии с фактической скоростью молокоотдачи [4].

Авторами разработан способ доения коровы, предусматривающий выбор параметров стимуляции, динамической пульсации и отключения доильного аппарата на основании показателей молокоотдачи животных стада. Вместе с тем практическая

реализация такого подхода требует разработки алгоритма, позволяющего определить пороговые значения по доступному интегральному показателю – среднесуточному удою коров.

В Республике Беларусь данное научное направление разрабатывалось такими ведущими учеными в области физиологии и техники доения, как М.В. Барановский, В.И. Передня, В.О. Китиков.

Цель работы – разработать алгоритм выбора дифференцированных динамических параметров пульсации сосковой резины для повышения эффективности и физиологичности процесса машинного доения.

Основная часть

Исследования проведены на молочно-товарном комплексе «Стриевка» СПК «Озеры» Гродненского района и молочно-товарном комплексе «Заболоть» УО СПК «Путришки». Объектом исследования являлись показатели молочной продуктивности и молокоотдачи коров, регистрируемые автоматизированными системами доения.

Для анализа использовали сведения компьютерных баз данных комплексов и материалы хозяйственной отчетности. Из программ менеджмента стада формировали отчеты, включавшие среднесуточный удой, среднюю и максимальную скорость молокоотдачи. На обоих комплексах применялись доильные установки, оснащенные аналогичными системами учета молока, что обеспечило сопоставимость получаемых данных [5].

Статистическую обработку и графическое представление результатов выполняли с использованием табличного MS Excel. Эмпирические зависимости процессора средней скорости молокоотдачи, максимальной скорости молокоотдачи и разности между ними от среднесуточного удоя аппроксимировали логарифмическими функциями.

Для анализа использовали сведения, автоматически регистрируемые доильными системами и формируемые в отчетах программы менеджмента стада. В исследуемый массив включали показатели среднесуточного удоя, средней и максимальной скорости молокоотдачи. Дополнительно рассчитывали разность между максимальной и средней скоростью молокоотдачи, характеризующую амплитуду изменения интенсивности молочного потока в течение доения. Обработку данных осуществляли на уровне стада, что позволило получить обобщенные показатели для технологической настройки доильного оборудования.

Анализ полученных данных показал, что с увеличением среднесуточного удоя коров возрастают средняя и максимальная скорость молокоотдачи, а также диапазон колебаний этих показателей в течение доения. При этом характер изменения показателей является нелинейным. При повышении продуктивности животных увеличивается разность между максимальной и средней скоростью молокоотдачи, что свидетельствует о том, что применение фиксированных настроек, не связанных с уровнем продуктивности конкретного стада, представляется недостаточно обоснованным.

Для реализации дифференцированного подхода к выбору технологических параметров доения путем аппроксимации полученных данных были установлены математические зависимости исследуемых показателей. Они позволили определить значения скорости молокоотдачи, используемые в качестве пороговых значений при настройке системы управления адаптивным доением с учетом особенностей молокоотдачи животных конкретного стада в производственных условиях (рис. 1).

Уравнение для определения значения Y_1 представляет собой аппроксимацию разности между максимальной и средней скоростью молокоотдачи и применяется для принятия решения о необходимости включения машинной стимуляции

$$Y_1 = \alpha_1 \cdot ln(x) \pm \beta_1, \quad (1)$$

где x – среднесуточный удой на одну корову в стаде, кг;

α_1, β_1 – эмпирические коэффициенты аппроксимирующей функции.

Уравнение для определения значения Y_2 соответствует аппроксимации средней скорости молокоотдачи и определяет начало изменения длительности такта сосания

$$Y_2 = \alpha_2 \cdot ln(x) \pm \beta_2, \quad (2)$$

где α_2, β_2 – эмпирические коэффициенты аппроксимирующей функции.

Уравнение для определения значения Y_3 характеризует аппроксимацию максимальной скорости молокоотдачи и соответствует верхней границе интервала динамического регулирования параметров пульсации [6]

$$Y_3 = \alpha_3 \cdot ln(x) \pm \beta_3, \quad (3)$$

где α_3, β_3 – эмпирические коэффициенты аппроксимирующей функции.

Уравнение для определения значения Y_4 используется для выбора порога начала отключения доильного аппарата

$$Y_4 = 0,25 \cdot Y_1. \quad (4)$$

Предлагаемый алгоритм реализуется следующим образом. После выполнения подготовительных операций доильный аппарат подключают к вымени животного. Если через 30 с после подключения аппарата фактическая скорость молокоотдачи не достигает расчетного значения Y_1, выполняется машинная стимуляция посредством повышения частоты пульсаций на протяжении 30 с. Применение порогового значения Y_1, рассчитанного как разность между максимальной и средней скоростью молокоотдачи, позволяет стимулировать молокоотдачу у животных с недостаточной интенсивностью потока в начальный период доения. Дополнительная стимуляция при задержке молоковыведения согласуется с физиологической ролью раздражения сосков в реализации рефлекса молокоотдачи [2; 4].

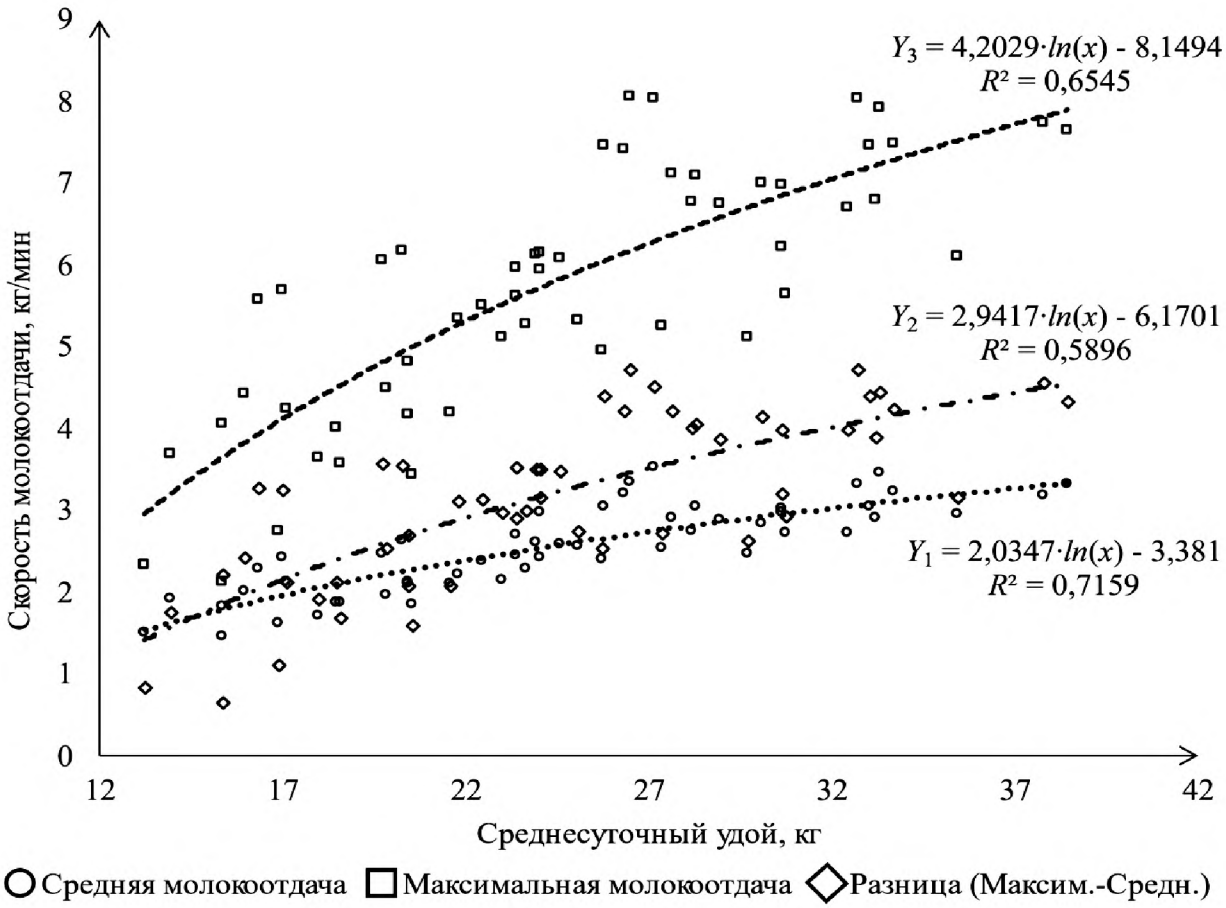

Рисунок 1. Зависимость показателей молокоотдачи от удоя коров

Значение Y_2 (формула 2), которое определяется по расчетной средней скорости молокоотдачи, является нижней границей интервала динамического регулирования. При увеличении фактической скорости потока от Y_2 до Y_3 длительность такта сосания последовательно изменяется от 600 до 1070 мс. Значение Y_3 (формула 3), определяемое из зависимости максимальной скорости молокоотдачи от среднесуточного удоя, характеризует верхнюю границу данного интервала. Изменение длительности такта сосания в соответствии с текущей скоростью потока отражает принцип потокозависимой пульсации, рассматриваемый как один из способов адаптации машинного доения к отдельным фазам молоковыведения [7, 8].

После достижения максимальной скорости молокоотдачи и перехода к фазе снижения молочного потока длительность такта сосания уменьшают в обратной последовательности от 1070 до 600 мс при снижении скорости от Y_3 до Y_2. Такое регулирование обеспечивает возвращение аппарата к более щадящему режиму по мере уменьшения количества и скорости потока молока. При этом длительность такта сжатия остается неизменной, что имеет значение для периодического восстановления тканей соска между фазами вакуумного воздействия [9].

Завершающим этапом алгоритма является автоматическое прекращение доения при снижении скорости молокоотдачи до значения Y_4 (формула 4). Использование расчетного порога прекращения доения позволяет связать момент отключения аппарата с характеристиками молокоотдачи конкретного стада. Обоснованный выбор уровня автоматического снятия аппарата необходим для сокращения продолжительности доения при малой интенсивности потока, а также для уменьшения длительности избыточного вакуумного воздействия на ткани соска в заключительной фазе доения [9-10].

Разработанный адаптивный алгоритм соответствует современному направлению совершенствования машинного доения, основанному на использовании скорости молокоотдачи в качестве параметра управления. Полученные результаты подтверждают, что потокозависимое изменение режимов пульсации может влиять на продолжительность машинного доения, форму кривой молокоотдачи и кратковременную реакцию тканей соска. Применение адаптивных режимов позволяет отказаться от использования фиксированных параметров на протяжении всего периода работы доильного аппарата [7, 8].

Разработанный способ доения позволяет связать параметры машинной стимуляции, динамической пульсации и отключения доильного аппарата с

продуктивностью конкретного стада. В отличие от использования фиксированных заводских настроек, предлагаемый алгоритм учитывает выявленные закономерности изменения молокоотдачи при повышении среднесуточного удоя. Для настройки системы достаточно использовать данные о продуктивности стада и коэффициенты регрессионных уравнений, полученные по результатам обработки информации автоматизированной системы управления доением [11].

Алгоритм апробирован в производственных условиях с использованием возможностей автоматизированных систем доильных установок на фермах, где проводились исследования. Его применение обеспечивает физиологичность процесса доения за счет своевременной корректировки пороговых значений, используемых для настройки адаптивной системы управления доением при изменении продуктивности животных и технологических характеристик стада [12, 13].

Заключение

1. Установлено, что средняя и максимальная скорость молокоотдачи, а также разность между указанными показателями изменяются нелинейно в зависимости от среднесуточного удоя коров стада, что свидетельствует о недостаточной обоснованности применения фиксированных настроек адаптивных систем управления доением, не учитывающих изменение продуктивности животных.

2. Полученные данные были систематизированы, аппроксимированы и представлены в виде логарифмических зависимостей, на основании которых был разработан алгоритм определения пороговых значений скорости молокоотдачи: Y_1 – для принятия решения о включении машинной стимуляции; Y_2 – для начала динамического изменения длительности такта сосания; Y_3 – для определения верхней границы диапазона такого изменения.

3. Алгоритм предусматривает включение машинной стимуляции продолжительностью 30 с, если через 30 с после начала доения скорость молокоотдачи остается ниже Y_1. В основном режиме доения длительность такта сосания изменяется от 600 до 1070 мс при увеличении скорости молокоотдачи от Y_2 до Y_3 и уменьшается в обратной последовательности при снижении скорости потока. Автоматическое прекращение доения осуществляется при снижении скорости молокоотдачи до порогового значения Y_4.

4. Использование расчетных значений порогов позволяет адаптировать параметры машинного доения к уровню продуктивности и особенностям молокоотдачи коров конкретного стада, эффективно и физиологично стимулировать рефлекс молокоотдачи, интенсифицировать процесс молоковыведения при максимальном потоке молока и снизить негативное вакуумное воздействие при низких потоках молока в начале и в конце доения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Review: milking machine settings, teat condition and milking efficiency in dairy cows / M. Odorčić, M. D. Rasmussen, C. O. Paulrud, R. M. Bruckmaier // Animal. – 2019. – Vol. 13, suppl. 1. – P. 94-99. https://doi.org/10.1017/S1751731119000417.

2. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without prestimulation / R. M. Bruckmaier, J. W. Blum // Journal of Dairy Research. – 1996. – Vol. 63, № 2. P. 201-208. – https://doi.org/10.1017/S0022029900031708.

3. Bimodal milk flow and overmilking in dairy cattle: risk factors and consequences / I. Zwertvaegher, M. Wieland, R. M. Bruckmaier [et al.] // Animal. – 2023. – Vol. 17, № 5. – Art. 100777. https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100777.

4. A randomized controlled trial to study the effects of an automated premilking stimulation system on milking performance, teat tissue condition, and udder health in Holstein dairy cows / M. Wieland, C. M. Geary, D. V. Nydam [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2023. – Vol. 106, № 9. – P. 6551-6566. https://doi.org/ 10.3168/jds.2022-22608.

5. Григорьев, Д.А. Скорость молокоотдачи как важнейший показатель пригодности коров к машинному доению / Д.А. Григорьев, К.В. Король // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов ГГАУ. – Гродно, 2015. – Т. 31. – С. 17-23.

6. Патент BY 22301, МПК A 01J 5/007(2006.01). Способ доения коровы: № a 20170406: заявлено 30.10.2017: опубл. 30.12.2018 / Король К.В., Григорьев Д.А., Богданович П.Ф.; заявители: Король К.В., Григорьев Д.А., Богданович П.Ф. – 8 с.

7. Effects of flow-responsive pulsation on teat tissue condition and milking performance in Holstein dairy cows / A. Singh, M. E. Spellman, H. Somula, M. Wieland // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107, № 9. – P. 7337-7351. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24605.

8. Effects of flow-responsive vacuum and pulsation with early attachment of the milking unit on teat tissue condition and milking performance in Holstein dairy cows / A. Singh, M. E. Spellman, H. Somula [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107, № 12. – P. 11744-11760. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25198.

9. A randomized trial to study the effect of automatic cluster remover settings on milking performance, teat condition, and udder health / M. Wieland, D. V. Nydam, W. Heuwieser [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103, № 4. – P. 3668-3682. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17342.

10. The effect of pulsation ratio on teat condition, milk somatic cell count, and milking characteristics / M. Wieland, J. F. Penry, M. D. Rasmussen [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98, № 12. – P. 8721-8730. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9760.

11. Король, К.В. Способ доения коровы / К.В. Король, Д.А. Григорьев // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов ГГАУ. – Гродно, 2019. – Т. 44. – С. 106-113.

12. Король, К.В. Молочная продуктивность коров при дифференцированной динамической пульсации в процессе доения / К.В. Король, Д.А. Григорьев // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов ГГАУ. – Гродно, 2017. – Т. 37. – С. 106-112.

13. Король, К.В. Морфофункциональные свойства вымени при дифференцированной динамической пульсации в процессе доения / К.В. Король, Д.А. Григорьев // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов ГГАУ. – Гродно, 2017. – Т. 37. – С. 113-119.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.09.2026

Программа балансирования рационов кормов для молочного скота

Программа балансирования рационов разработана по заданию РНТП «Развитие Минской области» и ***предназначена*** для создания рационов кормов для молочного скота с учетом показателей углеводного состава кормов и чистой энергии лактации.

Программа работает в интерактивном режиме. Пользователь имеет возможность выбрать корма, задав предварительно структуру рациона, и далее в процессе оптимизации отслеживать состояние баланса по всем показателям питательности.

Созданная программа предоставляет животноводам широкие возможности формирования рациона молочного скота.

Интерфейс программы позволяет конечному пользователю редактировать базу данных и пополнять ее за счет местных кормов.

Программа внедряется на молочных фермах Минской области.

