

*Vadim Kitikov**

ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

INNOVATIVE MODERNIZATION PROCESS OF MACHINE MILKING OF COWS

INNOWACYJNE MODERNIZACJE PODCZAS PROCESU MASZYNOWEGO DOJU KRÓW

Введение

Производство молока в мире по сравнению с 1990 годом увеличилось в 1,7 раза, достигнув 0,7 млрд. т/год. Вместе с тем на душу населения приходится всего лишь 100 кг/чел/год, что в 3,5 раза меньше необходимого годового потребления. Мировой объём экспортных продаж молочных продуктов (46 млн. т/год), составляет всего лишь 3% от потребности стран, не производящих молочные продукты в достатке [1, 2]. Тот факт, что мировой рынок молочных продуктов далёк от своего насыщения, создаёт хорошие предпосылки для развития молочно-товарного производства, совершенствование которого является актуальной, масштабно значимой научно-технической задачей, направленной на материальное и гуманитарное развитие мирового сообщества в целом.

Беларусь и Польша входят в число 20 стран, производящих 80% мирового объема молока. Также Польша занимает 16-е, а Беларусь 21-е место в мире по темпам роста производства молока [3]. Однако, несмотря на высокие количественные показатели, молочная отрасль и Беларуси, и Польши характеризуется повышенными затратами, о чем свидетельствуют данные о производстве молока на 100 га сельхозугодий: 78 и 80 т/100 га, соответственно, что в 2 раза ниже, чем, например, в Германии (160 т/100 га) [4].

Автор считает, что одной из главных проблем в настоящее время является проблема модернизации процесса машинного доения. Жёсткий режим работы доильного оборудования приводит к травмированию вымени животных. Следствием этого является снижение молочной продуктивности и, что самое главное – высокая заболеваемость коров маститом (до 30%). Известно, что коровы переболевшие маститом в дальнейшем обладают пониженным иммунитетом, что негативно отражается на их молочной продуктивности [5]. Не умаляя значимости сбалансированного кормления, условий содержания животных в коровнике и зооветеринарной профилактики, можно утверждать, что в настоящее

* dr hab., Republican Unitary Enterprise „Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization”, Republic of Belarus.

время именно процесс машинного доения, играет ключевую роль в повышении молочной продуктивности, так как если процесс машинного доения и доильное оборудование неэффективны, то генетический потенциал, кормление и условия преддоильного содержания коров не имеют решающего значения.

Анализ тенденций развития мирового молочного животноводства, а также собственный опыт автора, позволяют сделать вывод о том, отличительная особенность нового этапа развития молочной отрасли заключается в том, что усовершенствование процесса машинного доения традиционной модернизацией, например, путем замены оборудования на новое, невозможно. Эта важнейшая проблема в настоящее время может быть решена только путём инновационной модернизации, являющейся первостепенной задачей, необходимой для перевода молочной отрасли на более низкий уровень удельных затрат.

Методологический подход к модернизации процесса машинного доения

Прежде чем изложить концепцию инновационной модернизации, цель которой заключается в создании физиологически-щадящего процесса машинного доения, необходимо разработать критерий оценки эффективности результатов как инновационной, так и традиционной модернизации. Нами предложен обобщенный показатель *уровень удельных затрат*, учитывающий не только общие затраты, но также качество и сортность полученного молока, здоровье животных и их продуктивное долголетие, и определяется как отношение общих затрат к единице нормализованного продукта [6]:

$$\gamma = \frac{1 + n_o/n}{\alpha_M \cdot \varphi_M \cdot (1 - \delta') \cdot (1 - \delta'')} \cdot \frac{E(N_K)}{W_K \cdot N_K} \quad (1)$$

где γ – уровень удельных затрат, ГДж/т; $E(N_K)/N_K$ – общие затраты при производстве молока, ГДж/гол/год; N_K – количество коров в стаде, гол; W_K – средний удой коров, т/гол/год; n_o – время выращивания ремонтного молодняка, год; n – продуктивное долголетие, год; $\alpha_M = abc/a_o/b_o/c_o$ – коэффициент качества молока; a , b , c – содержание жира, белка, углеводов, соответственно, кг/т; параметры молока базового качества: $a_o = 36$ кг/т – содержание жира; $b_o = 32$ кг/т – содержание белка; $c_o = 47$ кг/т – содержание углеводов; φ_M – коэффициент сортности молока: $\varphi_M = b_3\varphi_3 + b_b\varphi_b + b_1\varphi_1$, для сорта „экстра” $\varphi_3 = 1,0$; для высшего сорта $\varphi_b = 0,8$; для 1-го сорта $\varphi_1 = 0,6$; сортность молока: b_3 – доля сорта „экстра”, b_b – доля высшего сорта, b_1 – доля 1-го сорта; δ' – доля коров, переболевших маститом; δ'' – доля коров с другими заболеваниями.

Отметим достоинства введённого критерия. Во-первых, он не зависит от рыночной конъюнктуры, и фактически отражает *технологический интеллект* молочной отрасли любой страны мира. Во-вторых, предложенный критерий помимо общей характеристики молочной отрасли характеризует эффективность процесса машинного доения, так как молочная продуктивность (удой, жир-

ность), сортность молочного сырья (бактериальная обсеменённость, содержание соматических клеток), здоровье коров (доля маститных коров, продуктивное долголетие) в значительной степени определяются совершенством процесса машинного доения. Анализ (1) показывает, что даже без изменения общих затрат, а только за счет усовершенствования процесса машинного доения, можно в 3 раза снизить уровень удельных затрат (Таблица 1).

Таблица 1
Оценка уровня удельных затрат γ

Параметр	Процесс машинного доения	
	существующий	физиологический
Годовой удой, т/год	4,7	6,5
Продуктивное долголетие, год	3	6
Жирность молока, %	3,6	4,2
Доля молока „экстра”, %	30	70
Доля высшего сорта, %	50	30
Доля первого сорта, %	20	0
Доля маститных коров, %	23	6
Уровень удельных затрат, ГДж/т	$0,590 \cdot E(N_k) / N_k$	$0,191 \cdot E(N_k) / N_k$

Инновационная модернизация процесса машинного доения реализуется за счёт привнесения в него новейших научных знаний, выработанных в молекулярной биологии и генетике о гормональной природе молоковыведения, а также за счёт учёта физиологического состояния и индивидуальных особенностей животных.

В контексте инновационной модернизации процесса машинного доения биохимические закономерности молоковыведения не являются объектом исследований, но они используются как отправная точка для разработки процесса и параметров технологического оборудования [7]. Сформулируем их в виде следующих четырех пунктов:

1. переход альвеолярного молока в цистерну вымени, а это 80% разового удоя, возможен *только* при наличии в крови животных гормона окситоцина, который, воздействуя на гладкую мускулатуру альвеол, заставляет их сокращаться, „отжимая” молоко в протоки и цистерну вымени. Время действия окситоцина для коров чёрно-пёстрой породы составляет 4–5 мин;

2. стресс во время доения сопровождается выделением в кровь гормона адреналина, который блокирует действие окситоцина и, следовательно, затрудняет молоковыведение;

3. первые порции цистернального молока содержат менее 1% жира, последние порции альвеолярного молока содержат 15–20% жира;

4. полнота альвеолярного выдаивания помимо того, что обеспечивает максимальный удой и высокую жирность молока, стимулирует секрецию молокообразования, увеличивая лактационный период. Остаточное альвеолярное молоко через обратную протеиновую связь запускает механизм, снижающий лактационную секрецию, что приводит к преждевременному самозапуску.

Первое, что необходимо сделать в новом процессе машинного доения – устранить все причины, которые вызывают стресс у животных (появление в крови животных гормона адреналина, см. п.2). Анализ работы доильного оборудования позволил установить, что причин стресса, непосредственно связанных с процессом машинного доения – три: низкая стабильность давления в рабочем вакуумном контуре, вызывающая гидродинамическое травмирование вымени; жёсткий травмирующий контакт сосковой резины с выменем животных; неоптимальные режимы машинного доения. Поэтому первое необходимое условие эффективного процесса машинного доения – *бесстрессовость процесса*.

Второе необходимое условие, которое следует реализовать в процессе машинного доения – *комфортность процесса для коров* – синхронизация времени машинного доения и времени нахождения гормона окситоцина в крови животного (см. п.1). Условие выражается следующим образом:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{окс}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{д}}$ – время машинного доения; $t_{\text{окс}}$ – время нахождения гормона окситоцина в крови коров.

Вместе с тем даже самое тщательное выполнение необходимых условий не гарантирует получения высокой молочной продуктивности. Третье и важнейшее условие, которое является достаточным – это *полнота альвеолярного выдаивания* (пп. 3–4). В результате анализа этого процесса, нами было установлено, что скорость машинного доения должна равняться генетически запрограммированной скорости перехода молока из альвеол в цистерну вымени:

$$v_{\text{д}} = v_{\text{ал}}, \quad (3)$$

где $v_{\text{д}}$ – скорость машинного доения (выход молока из цистерны вымени в коллектор), кг/мин; $v_{\text{ал}}$ – скорость перехода молока из альвеол в цистерну вымени под действием гормона, кг/мин.

Процесс машинного доения, основанный на принципах бесстрессовости, комфортности и полноты альвеолярного выдаивания является *физиологически-щадящим процессом* машинного доения. Такой процесс реализует в себе 2 функции: с одной стороны, это всё-таки процесс машинного доения, который должен обладать максимально возможной производительностью, а с другой стороны, процесс машинного доения организуется так, чтобы его режимы не конфликтовали с генетической программой гормонального молоковыведения. Непременное условие физиологически-щадящего процесса машинного доения – сохранение здоровья стада дойных коров как важнейшего ресурса молочной отрасли.

Остановимся подробнее на том, в какой степени при разработке физиологически-щадящего процесса машинного доения на практике удалось реализовать принципы бесстрессовости, комфортности и полноты альвеолярного выдаивания [7].

Бесстрессовость. Рабочий вакуумный контур доильной установки, включает в себя вакуумный и молочный насосы, систему вакуумных и молочных трубопроводов, ресиверы, управляющий воздушный клапан. В настоящее время большинство вакуумных контуров отечественного и импортного производства имеют относительно низкую стабильность давления: градиент давления 0,1 кПа/м; временная нестабильность ± 2 кПа; максимальная амплитуда пульсаций (во время надевания-съёма доильных аппаратов) до 45 кПа, коэффициент релаксации давления 20 кПа·с. Причина низкой стабильности давления, вызывающей гидродинамическое травмирование вымени, заключается в неэффективном способе регулировки давления в контуре. Давление в вакуумном контуре устанавливается как результат баланса потока воздуха, натекающего в контур, и потока воздуха, откачиваемого вакуумным насосом. В известных контурах стабилизация давления при случайном изменении скорости нерегулированного натекания происходит за счет соответствующего изменения скорости откачивания воздуха вакуумным насосом. Так как насос обладает достаточно большой инерционностью, то стабилизация давления является недостаточно эффективной.

Существенное повышение стабильности давления было достигнуто за счёт новой пространственной и функциональной структуры рабочего вакуумного контура. Пространственная структура контура, основанная на симметричном расположении её основных элементов (ресиверы, молочные насосы, система вакуумных и молочных трубопроводов, вакуумный насос), при прочих равных условиях, уже сама по себе способствует повышению стабильности давления. Функциональная структура нового контура заключается в безинерционном регулировании стабильности давления: стабилизация давления при случайном изменении скорости нерегулированного натекания происходит за счет соответствующего изменения в противофазе скорости регулируемого натекания через управляемые воздушные клапаны, при этом вакуумный насос работает в квазистационарном режиме. В целом новые принципы конструирования рабочего вакуумного контура и изменение механизма стабилизации давления позволили *существенно* (на порядок) повысить стабильность давления в контуре: градиент давления – 0,01 кПа/м, временная нестабильность $\pm 0,3$ кПа, максимальная амплитуда пульсаций давления 6 кПа, коэффициент релаксации давления 6 кПа·с.

Как было отмечено, вторым источником стресса в процессе машинного доения является контакт доильного аппарата с нежной плотью вымени. Сосковая резина является единственным элементом доильного аппарата, непосредственно контактирующим с выменем коров. В результате проведенных исследований была найдена оптимальная конфигурация сосковой резины. При эксплуатации сосковой резины возникают три основные проблемы: наполнение на вымя, баллонизация и негерметичность смыкания в зоне под соском. Установлено, что оптимальное соотношение геометрических параметров достигается за счёт создания в средней области сосковой резины „провоцирующего” на смыкание

пояска, толщина которого на 8% меньше концевых участков. Повышение эластичности в подсосковой зоне обеспечивает требуемую герметичность смыкания, что способствует восстановлению *кровообращения* в соске в такте сжатия. При этом напряжение, возникающее в середине сосковой резины при циклическом изменении давления, не передаётся на участок резины, надетой на сосок, исключая тем самым его травмирование.

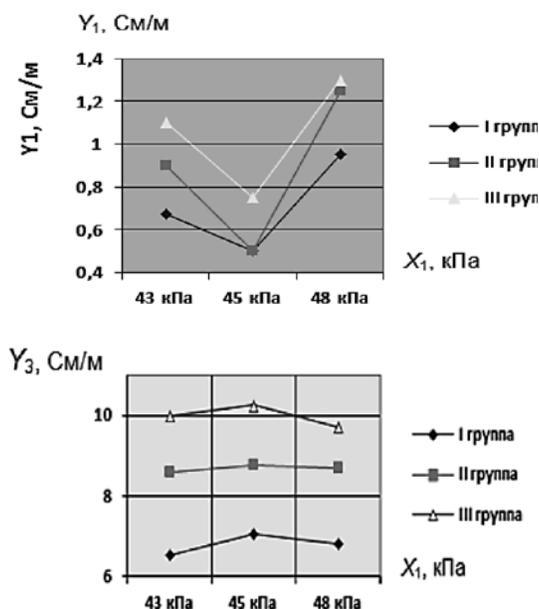
Для оценки эффективности процесса машинного доения были приняты 3 параметра, которые позволяют *всесторонне* контролировать процесс машинного доения с точки зрения количества и качества молока, здоровья животных, и технологических процессов машинного доения. Параметр Y_1 – электропроводимость молока (См/м), зависящая от концентрации соматических клеток в молоке и его жирности, характеризует качество молока (жирность, количество соматических клеток) и здоровье животных (количество соматических клеток); параметр Y_2 – скорость молокоотдачи (кг/мин), позволяет синхронизировать время машинного доения с временем действия гормона окситоцина в организме животного; Y_3 – удой молока (кг/гол./сут.), характеризует продуктивность животных.

В качестве варьируемых факторов, позволяющих регулировать скорость машинного доения, взяты факторы, концептуально различающиеся по своей природе: давление разрежения в рабочем вакуумном контуре X_1 (кПа), время преддоильной стимуляции X_2 (с) и температура преддоильного содержания животных X_3 (°С).

Экспериментальная проверка физиологически-щадящего процесса машинного доения

Установлено, что электропроводимость молока высокого качества (жирность > 4% и количество соматических клеток < $3 \cdot 10^5$ см⁻³) имеет величину $Y_1 = 0,4 - 0,6$ См/м, что соответствует молоку сорта „экстра”. Также в результате эксперимента получены зависимости электропроводимости молока и суточного удоя от величины давления разрежения (Рисунок 1). Установлено, что для обеспечения бесстрессового машинного доения коров, давление разрежения целесообразно изменять в интервале 42–47 кПа. Интервал варьирования фактора X_1 обусловлен тем, что давление разрежения менее 42 кПа не обеспечивает требуемую скорость машинного доения за время действия гормона окситоцина, а при давлении разрежения более 47,8 кПа происходят автоколебания с высокой амплитудой давления, связанные с переходом процесса натекания воздуха в рабочий вакуумный контур из дозвучкового режима в звуковой. Интервал варьирования фактора $X_2 \in [40; 60]$ с обусловлен тем, что за время менее 40 с концентрация гормона окситоцина в крови животных не достигает своего максимального значения, а стимулировать процесс более 60 с нет смысла, так как содержание окситоцина уже не увеличивается, и теряется время эффективного доения. Интервал варьирования фактора $X_3 \in [0; 20]$ С° отражает характерное для белорусского климата изменение температуры содержания животных на ферме.

Рисунок 1
 Графики зависимости электропроводимости молока (а) и суточного удоя (б) от давления папьежения



Для исследования процесса машинного доения была отобрана группа коров, состоящей из 10 коров, которые имели одинаковое физиологическое состояние: 4-й лактационный период, отёл 3–5 февраля, молочная продуктивность по результатам третьего лактационного периода (307 дней) составляла 4,7 т/год, а жирность молока – 3,6% (разброс индивидуальных параметров был менее 2%). Все животные содержались в экспериментальном боксе беспривязно при свободном доступе к кормовому столу. Машинное доение осуществлялось в отдельном доильном зале с количеством доильных мест 1x8. Параметр Y_1 , характеризующий здоровье вымени и качество молока, определялся ежесуточно по 24 дублям (8 коров при трехразовом доении); параметр Y_2 , характеризующий скорость молоковыведения, определялся ежесуточно по 24 дублям; параметр Y_3 , характеризующий разовые и суточные удои, определялся ежесуточно по 24 и 8 дублям соответственно [7].

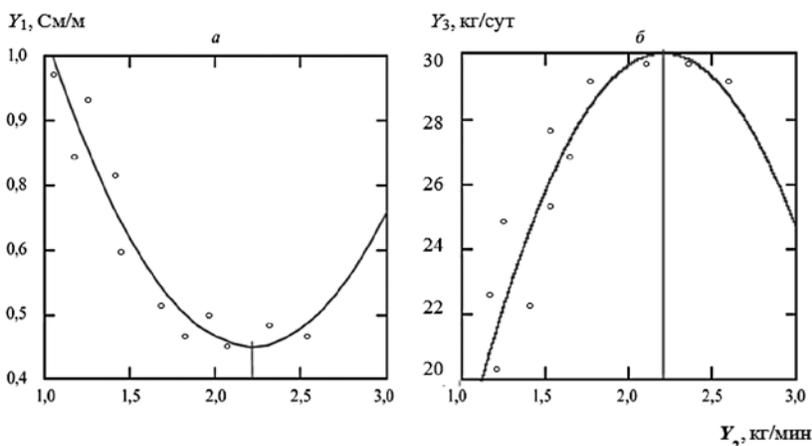
Для коров чёрно-пёстрой породы экспериментально установлено, что доение коров следует начинать через 50–55 с после начала ручной стимуляции. Экспериментально определённое время начала машинного доения, хорошо согласуется с данными, полученными молекулярными биологами: время появления гормона окситоцина в молочных железах коров чёрно-пёстрой породы после начала стимуляции составляет величину ≈ 1 мин [8].

На Рисунке 2 приведены графики, отражающие зависимость качества молочного сырья Y_1 , а также количество молочного сырья Y_3 от скорости молоковыведения Y_2 . Хорошо видно, что минимум Y_1 и максимум Y_3 достигаются при одной и том же значении скорости молоковыведения $Y_2 = 2,2$ кг/

мин, обеспечивающей время одной короводойки: $10,0 \text{ кг}/3/2,2 \text{ кг}/\text{мин} \approx 4,5 \text{ мин}$, что совпадает с литературными данными по времени действия гормона окситоцина, „отжимающего” молоко из альвеол в протоки и цистерну вымени. Таким образом, можно утверждать, что удалось „технологическими” приёмами косвенно подтвердить факт из молекулярной биологии, а заодно и справедливость всей разработанной концепции на практике.

Рисунок 2

Графики зависимости электропроводности молока Y_1 (а) и удоя Y_3 (б) от скорости молокоотдачи Y_2
 $[Y_1] = \text{См}/\text{м}$; $[Y_2] = \text{кг}/\text{мин}$; $[Y_3] = \text{кг}/\text{гол}/\text{сут}$



Тот факт, что при скорости машинного доения 2,2 кг/мин одновременно достигаются максимум выдоенного молока Y_3 и минимум параметра Y_1 , характеризующего качество выдоенного молока (жирность) и здоровье животных (концентрация соматических клеток), является косвенным доказательством того, что при выбранной скорости машинного доения удалось синхронизовать время машинного доения со временем действия гормона окситоцина в организме животных. Такое совпадение подтверждает тот факт, что только при полном альвеолярном выдаивании удаётся получить и максимальный удой и максимальную жирность. При этом в процессе доения корова не испытывает дискомфорта, что отражается в минимально возможной концентрации соматических клеток (минимум соматических клеток и максимум жирности даёт минимум параметра $Y_1 = 0.46$, что соответствует молоку сорта „экстра”).

Выводы

1. Эффективным процессом машинного доения является такой процесс, в котором отсутствуют источники стресса для животных. Установлено, что основной причиной стресса при машинном доении является гидродинамическое

травмирование вымени коров при механическом контакте рабочих органов доильного оборудования, находящихся под вакуумным разрежением. При этом самым травмирующим элементом доильного оборудования в настоящее время является неоптимальный уровень разрежения, нестабильность и пульсационная неустойчивость в рабочем вакуумном контуре доения. Для организации бесстрессового машинного доения необходим рабочий контур с повышенной стабильностью давления, который поддерживает в автоматическом режиме номинальное давление разрежения в диапазоне 42–47 кПа с точностью 0,5% и коэффициентом релаксации давления 6 кПа·с.

2. Установлено, что для реализации эффективного доения необходима синхронизация по времени процессов машинного доения и нахождения в крови гормона окситоцина для обеспечения равенства скорости выведения молока из цистерны вымени и скорости поступления молока из альвеол в цистерну. Это соотношение достигается при скорости машинного доения, равной массе молока за одну короводойку, делённого на время действия гормона окситоцина в крови животных (4,5 мин). Эффективное выдаивание обеспечивает высокие удои и высокое качество молока (низкая концентрация соматических клеток и высокая жирность).

3. Обосновано, что эффективность машинного доения количественно характеризуется тремя параметрами: электропроводимость молока, скорость молокоотдачи в процессе доения и суточный удой. В качестве существенных факторов, варьирование которыми позволяет управлять и оптимизировать процесс машинного доения, приняты следующие: давление разрежения в рабочем контуре, соотношение тактов сжатия и сосания (технические), время преддоильной стимуляции и среднесуточная температура преддоильного содержания коров (физиологические факторы).

4. Созданный физиологически-щадящий процесс машинного доения позволяет, даже без изменения общих затрат $E(N_K)/N_K$, а только за счет усовершенствования процесса машинного доения, снизить уровень удельных затрат с 42 до 18 ГДж/т (для сравнения в Германии этот показатель равен 13 ГДж/т).

ЛИТЕРАТУРА

1. Беларусь и страны мира: сб. статистич. инф. /М-во статистики и анализа. – Минск, 2015. – 271 с.
2. Food Outlook: Glob. Market Analysis / FAO Statistical Yearbook, May 2015. – Rome 2015. – pp. 121.
3. <http://www.milknews.ru>.
4. **Китиков В. О. 2011.** *Ресурсоэффективные технологии производства молока* / Китиков В. О.; Нац. акад. наук Беларуси, РУП „Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства”. – Минск, – 233 с.
5. **Blowey R. 2010.** *Milking machines and mastitis* / Blowey R., Edmondson P. // Mastitis control in dairy herds (Ed. 2. – Wallingford: CABI, – P. 60–94.

6. **Китиков, В. О. 2013.** *Стратегическое направление развития машинного доения коров* / Китиков В. О., Леонов А. Н. // Вести НАН Беларуси. Сер. аграрн. наук. – № 4. – С. 91–104.
7. **Китиков В. О. 2015.** *Научные основы создания технологического оборудования и физиологически-щадящего процесса машинного доения коров* / Китиков В. О.; Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Минск, – 60 с.
8. **Любин Н. А. 2004.** *Физиология лактации. Физиологические основы машинного доения коров.* – Ульяновск: УГСХА, – 25 с.

РЕЗЮМЕ

На основе анализа тенденций в молочно-товарном производстве и новых научных знаний о биосинтезе молока, предложен концептуальный подход к проектированию оборудования для машинного доения коров, с учетом взаимосвязи технических и физиологических параметров. Предложена новая методика для анализа энергозатрат при производстве молока.

Ключевые слова: машинное доение, физиологически-щадящий процесс, доильное оборудование, удельные затраты.

SUMMARY

Based on the analysis of tendencies in dairy-commodity production and new scientific knowledge in milk biosynthesis, we put forward a conceptual approach to the designing of equipment for machine milking of cows, with regard to interconnection of technical and physiological parameters. We offer a new methodology for analyzing energy inputs during milk production.

Keywords: machine milking, physiologically-sparing process, milking equipment, costs per unit.

STRESZCZENIE

Opierając się na analizie trendów w produkcji mleczno-towarowej i najnowszej wiedzy naukowej na temat biosyntezy mleka, przedstawiono koncepcyjne podejście do projektowania urządzeń do dojenia krów, biorąc pod uwagę stosunek parametrów technicznych i fizjologicznych. Na podstawie tych analiz zaproponowano nową metodologię analizy nakładów energii podczas produkcji mleka.

Słowa kluczowe: dojenie maszynowe, proces fizjologiczno-oszczędny, sprzęt do dojenia, koszt jednostkowy.