

УДК 636.2.034:637.116

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

В.О. Китиков, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства
E-mail: kitsikau@tut.by

А.Н. Леонов, доктор технических наук, профессор
Белорусский государственный аграрный технический университет
E-mail: lannik@rambler.ru

Аннотация. Анализ тенденций развития мирового молочного животноводства, а также собственный опыт авторов позволил сделать следующий вывод: отличительная особенность нового этапа развития молочной отрасли заключается в том, что усовершенствование процесса машинного доения традиционной модернизацией невозможно. Эта важнейшая проблема в настоящее время может быть решена только путем инновационной модернизации, являющейся первостепенной задачей, необходимой для перевода молочной отрасли на более низкий уровень удельных затрат. На основе новых научных знаний в биосинтезе молока предложен концептуальный подход к проектированию оборудования для машинного доения коров с учетом взаимосвязи технических и физиологических параметров. Показано, что принципы, на которых основан физиологически-щадящий процесс машинного доения – это бесстрессовость, комфортность и полнота альвеолярного выдаивания. Кроме того, новый концептуальный подход подразумевает учет физиологического состояния и индивидуальных особенностей животных, обоснование конструктивных параметров и режимов работы доильного оборудования.

Ключевые слова: производство молока, доильная установка, удельные затраты, бесстрессовость, комфортность, полнота альвеолярного выдаивания.

Введение. Мировое производство молока за последние 25 лет увеличилось в 1,7 раза, достигнув 710 млн т/год. Тем не менее, на душу населения приходится всего лишь 100 кг/чел/год (рекомендуемая норма ВОЗ – 380 кг/чел/год). Мировой объем экспортных продаж молочных продуктов, равный 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 далек от своего насыщения, создает 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.

Молочное животноводство Беларуси в настоящее время достигло впечатляющих количественных результатов: удельное производство молока 705 кг/чел/год (4-е место в мире, 3-е в Европе), экспорт молока вырос

до 5% мирового объема экспортных продаж, достигнув в ценовом исчислении 2,3 млрд долл/год в 2013 г. (5-е место в мире). Однако, несмотря на высокие количественные показатели, отечественная молочная отрасль характеризуется относительно высоким уровнем удельных затрат: энергозатраты – 90 кВт·ч/т; трудозатраты – 70 чел·ч/т; средний удой – 4,7 т/гол/год, доля молока сорта «экстра» – 30% (для сравнения в ЕС – 45 кВт·ч/т; 35 чел·ч/т; 8,5 т/гол/год; 70% соответственно) [3].

Одной из главных причин низких показателей является несовершенный процесс машинного доения. Жесткий режим работы доильного оборудования приводит к травмированию нежной плоти животных. Следствием этого является снижение молочной продуктивности и, что самое главное, высокая заболеваемость коров маститом (30% и более). Известно, что коровы, переболевшие маститом, в дальнейшем обладают пониженным иммунитетом, что негативно отражается на

их молочной продуктивности. Не умаляя значимости сбалансированного кормления, условий содержания животных в коровнике и зооветеринарной профилактики, можно утверждать, что в настоящее 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 авторов позволяет сделать вывод о том, что отличительная особенность нового этапа развития молочной отрасли заключается в том, что усовершенствование процесса машинного доения традиционной модернизацией невозможно. Эта важнейшая проблема в настоящее время может быть решена только путем 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. Показатель определяется как отношение общих затрат к единице нормализованного продукта:

$$\gamma = \frac{1 + n_0/n}{\alpha_m \cdot \varphi_m \cdot (1 - \delta') \cdot (1 - \delta'')} \cdot \frac{E(N_k)}{W_k \cdot N_k} \quad (1)$$

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_0 – время выращивания ремонтного молодняка, год; n – продуктивное долголетие, год; $\alpha_m = abc/a_0b_0c_0$ – коэффициент качества молока; a, b, c – содержание жира, белка, углеводов соответственно, кг/т; параметры молока базового качества: $a_0 = 36$ кг/т – содержание жира; $b_0 = 32$ кг/т – содержание белка; $c_0 = 47$ 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 сорта; δ' – доля коров, переболевших маститом; δ'' – доля коров с другими заболеваниями.

Отметим достоинства введенного 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, т.к. молочная продуктивность (удой, жирность), сортность молочного сырья (бактериальная обсемененность, 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 $E(N_k)/N_k$ за счет усовершенствования процесса машинного доения можно в 3 раза снизить уровень удельных затрат (табл. 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 · $E(N_k)/N_k$ | 0,191 · $E(N_k)/N_k$ |

Инновационная модернизация процесса машинного доения может быть реализована различными способами. В данной работе инновационную модернизацию процесса машинного доения было решено провести за счет привнесения в него новейших научных знаний, выработанных в молекулярной биологии и генетике о гормональной природе молоковыведения, а также за счет учета 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 машинного доения и параметров технологического оборудования. 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 черно-пестрой 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 – 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 протениновую 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 живот-

ных (появление в крови животных гормона адреналина, 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; жесткий 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 (п. 1). Условие выражается следующим образом:

$$t_{д} = t_{окс}, \quad (2)$$

где $t_{д}$ – время машинного доения; $t_{окс}$ – 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 (п. 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:

$$V_{д} = V_{ал}, \quad (3)$$

где $V_{д}$ – скорость машинного доения (выход молока из цистерны вымени в коллектор), кг/мин; $V_{ал}$ – 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 две функции: с одной стороны, это все-таки процесс машинного доения, который должен обладать максимально воз-

можной 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.

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-съема 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 счет новой пространственной и функциональной структуры рабочего вакуумного контура [4]. Пространственная структура контура, основан-

ная на симметричном расположении ее 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 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 [5,6] была найдена оптимальная конфигурация сосковой резины. При эксплуатации сосковой резины возникают три основные проблемы: напозание на вымя, баллонизация и негерметичность смыкания в зоне под соском.

Установлено, что оптимальное соотношение геометрических параметров достигается за счет создания в средней области сосковой резины «провоцирующего» на смыкание пояса, 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 пере-

дается 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 со 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 < $3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$) имеет величину $Y_1 = 0,4-0,6 \text{ См/м}$, что соответствует молоку сорта «экстра». Также в результате эксперимента получены зависимости электропроводимости молока и суточного удоя от величины давления разрежения (рис. 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 проис-

ходят автоколебания с высокой амплитудой давления, связанные с переходом процесса натекания воздуха в рабочий вакуумный контур из дозвукового режима в звуковой.

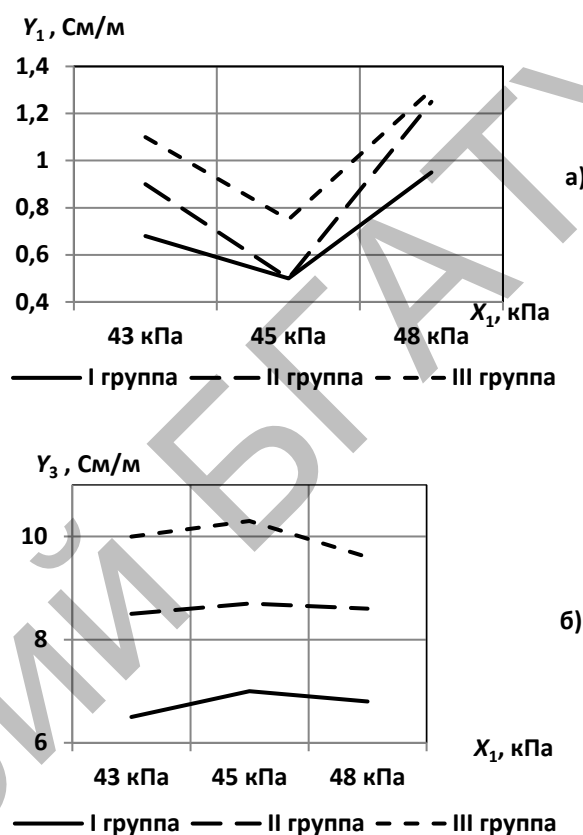


Рис. 1. Графики зависимости электропроводимости молока (а) и суточного удоя (б) от давления разрежения

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, т.к. 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.

Для исследования процесса машинного доения была отобрана группа коров, состоящая из 10 коров, которые имели одинаковое физиологическое состояние: 4-й лактационный период, отел 3-5 февраля, молочная продуктивность по результатам третьего лакта-

ционного 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 1×8. 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. Для коров черно-пестрой породы экспериментально установлено, что доение коров следует начинать через 50-55 с после начала ручной стимуляции. Экспериментально определенное время начала машинного доения хорошо согласуется с данными, полученными молекулярными биологами: время появления гормона окситоцина в молочных железах коров черно-пестрой породы после начала стимуляции составляет величину ≈ 1 мин [7].

На рис. 2 приведены графики, отражающие зависимость качества молочного сырья и здоровья животных Y_1 , а также количество молочного сырья Y_3 от скорости молоковыведения Y_2 .

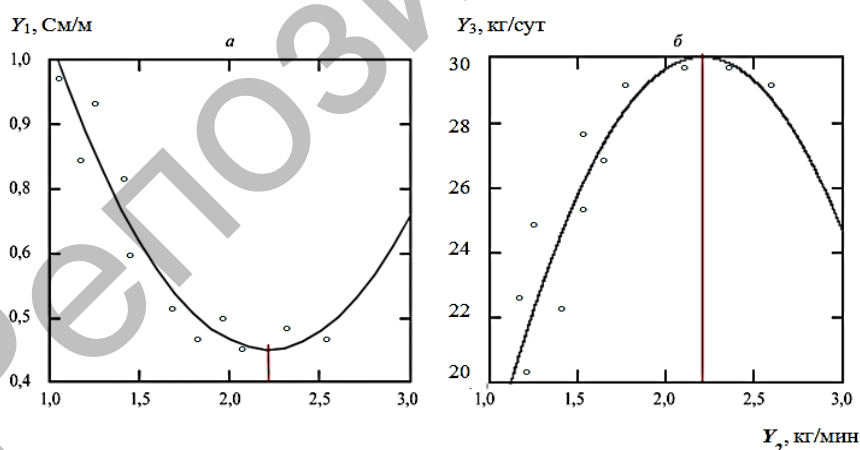


Рис. 2. Графики зависимости электропроводности молока Y_1 (а) и удои Y_3 (б) от скорости молокоотдачи Y_2 :
 $[Y_1] = \text{См/м}$; $[Y_2] = \text{кг/мин}$; $[Y_3] = \text{кг/гол/сут}$

Хорошо видно, что минимум Y_1 и максимум Y_3 достигаются при одном и том же значении скорости молоковыведения $Y_2=2,2$ кг/мин, обеспечивающей время одной короводойки: $10,0 \text{ кг}/3/2,2 \text{ кг/мин} \approx 4,5$ мин, что совпадает с литературными данными по времени действия гормона окситоцина, «отжимающего» молоко из альвеол в протоки и цистерну вымени [7]. Таким образом, можно утверждать, что удалось «технологически» приемами косвенно подтвердить факт из молекулярной биологии и справедливость всей разработанной концепции на практике.

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 удается 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 дает минимум параметра $Y_1 = 0,46$, что соответствует молоку сорта «экстра»).

Выводы:

1. Эффективным процессом машинного доения является 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 ва-

куумным разрежением. При этом самым травмирующим элементом доильного оборудования 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 42-47 кПа с точностью 0,5% и коэффициентом релаксации 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, деленной на время действия гормона окситоцина в крови животных. Эффективное выдаивание обеспечивает высокие удои и качество молока.

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: давление разрежения в рабочем контуре, соотношение тактов сжатия и сосания, время пред-

доильной стимуляции и среднесуточная температура преддоильного содержания коров.

4. Созданный физиологически-щадящий процесс машинного доения позволил, даже без изменения общих затрат $E(N_k)/N_k$, а только за счет усовершенствования процесса машинного доения, снизить уровень удельных затрат для 20 базовых хозяйств Беларуси с 42 до 18 ГДж/т (в Германии – 13 ГДж/т).

Литература:

1. Беларусь и страны мира. Мн., 2010. 271 с.
2. Food Outlook: Glob. Market Analysis. Rome, 2012.
3. Китиков В.О., Музыка А.А. Анализ технологий производства молока в контексте гармонизации нормативных требований со стандартами ЕС // Вестник НАН Беларуси. 2007. №4. С. 105-108.
4. Любин Н.А. Физиология лактации. Ульяновск, 2004.
5. Китиков В.О. Ресурсоэффективные технологии производства молока. Мн., 2011. 233 с.
6. Иванов Ю.А. Качество молока и эффективность его производства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. №2. С. 22-24.
7. Кокорина Э.П. Условные рефлексы и продуктивность животных. М., 1986. 278 с.

Literatura:

1. Belarus' i strany mira. Mn., 2010. 271 s.
2. Food Outlook: Glob. Market Analysis. Rome, 2012.
3. Kitikov V.O., Muzyka A.A. Analiz tekhnologij proizvodstva moloka v kontekste garmonizacii normativnyh trebovanij so standartami ES // Vestnik NAN Belarusi. 2007. №4. S. 105-108.
4. Lyubin N.A. Fiziologiya laktacii. Ul'yanovsk, 2004.
5. Kitikov V.O. Resursoehffektivnye tekhnologii proizvodstva moloka. Mn., 2011. 233 s.
6. Ivanov YU.A. Kachestvo moloka i ehffektivnost' ego proizvodstva // Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2012. №2. S. 22-24.
7. Kokorina EH.P. Uslovnnye refleksy i produktivnost' zhi-votnyh. M., 1986. 278 s.

THE COW MACHINE MILKING PROCESS MODERNIZATION

V.O. Kitikov, doctor of technical sciences, leading research worker
Belarus NAN agriculture mechanization scientific- and- practice center

A.N. Leonov, doctor of technical sciences, professor
Belarusian state agrarian technical university

Abstract. *The dairy farming world trends analysis, as well as the author's own experience allowed to conclude the following: the dairy industry improvement's new stage distinguishing feature idea that the traditional machine milking process modernization is impossible. This the most important current problem can be solved only through innovative modernization, which is the primary task, necessary for the dairy industry transfer on a lower unit cost level. On the milk biosynthesis new scientific knowledge basis a conceptual approach to the cows machine milking equipment design, taking into account the technical and physiological parameters' relationship is suggested. It is shown that the physiologically-gentle principles of machine milking process are stress free, comfort, and teat alveolar emptying completeness. In addition, a new conceptual approach implies taking into account the animals physiological state and individual peculiarities, milking equipment designing and operating parameters justification.*

Keywords: *milk production, milking unit, unit costs, stress free, comfort, teat alveolar emptying completeness.*