

МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

УДК 636.2.034:637.116

В. О. КИТИКОВ¹, А. Н. ЛЕОНОВ²

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

¹Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства,
Минск, Республика Беларусь, e-mail: kitsikau@tut.by

²Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 31.07.2013)

Молоко – уникальный по составу и питательным свойствам продукт, сыгравший важнейшую роль в эволюционном развитии человечества и имеющий первостепенное значение для обеспечения продовольственной безопасности страны. Так как биологическая норма потребления молока составляет 380 кг/(чел×год), то потенциальный объем мирового потребления в настоящее время должен составлять не менее 2 млрд т/год. Несмотря на это, мир в настоящее время потребляет всего лишь 100 кг/(чел×год) при годовом производстве молока 0,71 млрд т/год [1, 2].

Производство молока в мире за последние 25 лет увеличилось в 1,7 раза (рис. 1), в основном за счет интенсивного развития молочного животноводства в Европе, Азии, Северной и Южной Америке. В ближайшее десятилетие, по мнению ООН, производство молока должно быть увеличено как минимум на 50 % для обеспечения растущей потребности населения Земли и как эффективное средство для борьбы с голодом в развивающихся странах [3, с. 7].

Следует отметить, что в коммерческом плане молочные продукты являются товаром повышенного спроса, легко реализуемым на рынке. Однако мировой объем экспортных продаж молочных продуктов, равный 46 млн т/год, составляет всего лишь 3 % от потребности в странах, не производящих молочные продукты в достатке [4, 5].

Таким образом, мировой рынок молочных продуктов весьма далек от своего насыщения, что создает хорошие предпосылки для развития молочно-товарного производства, совершенствование которого является актуальной, масштабно значимой задачей, направленной на материальное и гуманитарное развитие мирового сообщества в целом.

Молочное животноводство Беларуси в настоящее время достигло значительных результатов: дойное стадо составляет 1,5 млн коров; удельное производство молока 0,7 т/(чел×год) (4-е место в мире), экспорт молока вырос до 8 % мирового объема экспортных продаж, достигнув в ценовом исчислении в 2012 г. 1,8 млрд долл/год (5-е место в мире), что обусловлено благоприятными природно-климатическими условиями, а также достаточно высоким научно-техническим уровнем экономики страны.

Важнейшим фактором, позволяющим оценивать благоприятность условий для ведения молочного животноводства, является гидротермический коэффициент, величина которого определяется по следующей формуле [6]:

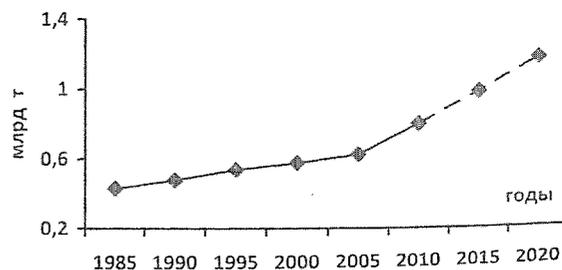


Рис. 1. Объем мирового производства молока

$$k = \frac{10 \cdot R}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (1)$$

где k – гидротермический коэффициент, мм/°C; n – количество дней, среднесуточная температура в которых превышала 10 °C; R – сумма осадков, проникающих в почву за вегетационный период, состоящий из n дней, мм; t_i – среднесуточная температура в i -й день, $i = 1, \dots, n$.

Известно, что для производства молока благоприятными являются территории, для которых $1,3 \leq k \leq 1,6$, т. е. такие территории, которые отличаются умеренными температурами и относительно большим количеством осадков, что способствует естественному росту зеленых стебельчатых кормов. В этом смысле географическое положение Беларуси весьма благоприятно для развития молочного животноводства, так как $k = 1,5-1,6$, что превосходит аналогичные показатели для таких стран, как Франция ($k = 0,8$), Германия ($k = 0,9$), Англия ($k = 1,1$), Польша ($k = 1,2$), и сопоставимо с условиями мировых лидеров в производстве молока – Новой Зеландии и Ирландии [6, 7].

Кроме того, Беларусь обладает достаточно развитой материально-технической базой и высоким промышленным потенциалом сельхозмашиностроения (годовой объем производства только 5 крупнейших заводов – МТЗ, Гомсельмаш, Бобруйсксельмаш, Лидагромаш, Амкодор – составляет более 3 млрд долл.); в стране сформирована высокопрофессиональная система подготовки научных и инженерно-технических кадров (5 научно-практических аграрных центров и 4 университета). Поэтому, учитывая благоприятный природно-климатический и высокий промышленный потенциал Беларуси, мировой дефицит и конъюнктуру молочных продуктов, можно сделать вывод о том, что молочное животноводство должно стать приоритетным направлением развития АПК страны.

Вместе с тем в молочно-товарном производстве Беларуси в ближайшее время необходимо решить ряд научно-технических проблем, которые позволят существенно повысить его рентабельность за счет снижения общих затрат и реализации генетического потенциала стада по количеству и качеству молока. Важнейшими показателями, определяющими рентабельность являются удельные затраты, по которым отечественное производство в настоящее время уступает лучшим мировым производителям в 1,2–2,0 раза (таблица); при этом доля молока сорта «экстра» составляет всего лишь 30 %, в то время как в ЕС – 70 %.

Таким образом, современное отечественное молочное-товарное производство, несмотря на высокие количественные показатели, характеризуется относительно высокой ресурсоемкостью по сравнению с лучшими мировыми производителями, что снижает коммерческий эффект экспорта белорусских молочных продуктов.

Показатели конкурентоспособности производства молока

| Показатель | Европейский союз | Республика Беларусь |
|---|------------------|---------------------|
| Ресурсоемкость производства молока: | | |
| удельные трудозатраты, чел.-ч/т | 30÷40 | 60÷80 |
| удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/т | 40÷60 | 80÷100 |
| удельный расход кормов, ц.к.ед./ц | 80÷90 | 100÷110 |
| Доля качественного молочного сырья (сорт «экстра»), % | 70 | 30 |

Причинами, снижающими эффективность молочного-товарного производства, являются: относительно небольшой удельный вес механизации и автоматизации, значительное влияние малококвалифицированного труда на конечный результат; морально устаревшее технологическое оборудование для машинного доения, проектирующееся без учета физиологического состояния и индивидуальных особенностей коров, вызывающее, в частности, неоправданное травмирование вымени, повышающее вероятность заболевания маститом; малокомфортные условия содержания животных (неэффективное навозоудаление, плохой микроклимат, недостаточный воздухообмен, низкие температуры в зимний период); отсутствие информационных управляющих систем (ИУС), в полной мере учитывающих физиологическое состояние и индивидуальные особенности коров, что не позволяет эффективно реализовать генетический потенциал стада. Следует

еще раз отметить, что снижение удельных затрат при производстве молока, которые напрямую определяют рентабельность и конкурентоспособность конечной продукции, является классической инженерной задачей, эффективность решения которой, по сути, характеризует технологический интеллект молочной отрасли.

Новый подход к модернизации молочно-товарного производства. Собственный опыт и анализ тенденций развития мирового молочного животноводства позволяет авторам сделать вывод, что традиционных способов повышения эффективности производства недостаточно, нужны концептуально новые подходы. Модернизация молочно-товарного производства, позволяющая осуществить переход молочной отрасли Республики Беларусь на мировой уровень, должна базироваться на привнесении новейших научных знаний, полученных в области: молекулярной биологии и генетики, позволяющих на новом уровне более эффективно организовать селекцию и кормление животных, разработать новые принципы содержания, воспроизводства и профилактики заболеваний, а также физиологически щадящего машинного доения; точного машиностроения для реализации новых идей в механизации, автоматизации и роботизации; информационных управляющих систем, позволяющих через глобальный учет индивидуальных особенностей животных осуществлять управление стадом на новом уровне. При этом на всех стадиях производства молока следует помнить о том, что комфортное состояние животного, особенно на стадии машинного доения, должно быть главным критерием проектирования и разработки технологического оборудования.

Перевод существующего молочно-товарного производства на более высокий уровень рентабельности возможен только на основе системного подхода в формировании инфраструктуры молочно-товарной фермы, причем следует особо подчеркнуть, что центральное место в биотехнической системе «человек – машина – животное» должен занимать биологический объект – корова (рис. 2).

Специфика молочного животноводства состоит в том, что корова, являясь носителем двух важнейших функций, отражающих природу получения молока – биосинтез (молокообразование) и молокоотдача – разбивает структуру молочно-товарного производства на две подсистемы: стереотипы преддоильного содержания, задача которых – создать наилучшие условия для максимального молокообразования, и стереотипы машинного доения, задача которых – эффективно и комфортно забрать все выработанное молоко.

Этот факт диктует новый подход к разработке технических средств, заключающийся в том, что оборудование, связанное с обеспечением условий преддоильного содержания и машинного доения, должно учитывать биологические закономерности синтеза молока в альвеолах молочной железы, физиологическое состояние и индивидуальные особенности животных и, что не менее важно, биологические закономерности молоковыведения.

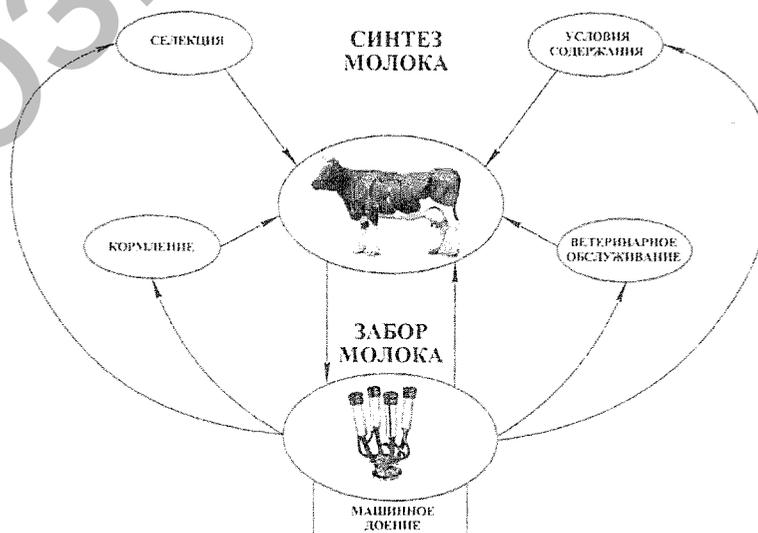


Рис. 2. Технологические стереотипы преддоильного содержания и машинного доения в производстве молока

В качестве критерия эффективности модернизации молочно-товарного производства в данной статье предложен коэффициент удельных затрат как отношение общих затрат к единице нормализованного продукта:

$$\gamma = \frac{\alpha \varphi E(N)}{(N - N') \cdot V}, \quad (2)$$

где γ – коэффициент удельных затрат при производстве молока, Дж/т; $\alpha = \frac{a_0 b_0 c_0}{abc}$ – коэффициент качества полученного молока; a_0 – содержание жира нормализованного молока, $a_0 = 32$ кг/т; b_0 – содержание белка в нормализованном молоке, $b_0 = 28$ кг/т; c_0 – содержание углеводов в нормализованном молоке, $c_0 = 47$ кг/т; a, b, c – содержание жира, белка, углеводов в полученном молоке, кг/т; N – количество коров в стаде; N' – количество коров, временно исключенных из технологического процесса; V – средний удой коров в стаде, т/год; $E(N)$ – общие затраты при производстве молока, Дж/год; φ – коэффициент сортности молока, для сорта «экстра» $\varphi = 0,67$, для высшего сорта $\varphi = 0,80$, для первого сорта $\varphi = 1,00$. В среднем содержание жира в молоке составляет от 3,0 до 5,5 %, белка (казеин + протеин) – от 3,0 до 3,8 % и лактозы – от 4,0 до 4,8 %.

Научно-информационная ценность коэффициента удельных затрат, рассчитанного по уравнению (2), заключается в том, что с его помощью можно выполнить сравнительный анализ удельных затрат при производстве молока в различных природно-производственных условиях. Следует отметить, что величина коэффициента удельных затрат определяется двумя группами показателей: 1) величина общих затрат $E(N)$, которые на 90–95 % [8] определяются стереотипами преддоильного содержания, а также N' – количество коров, временно исключенных из технологического процесса; 2) параметры молочного сырья V, a, φ , (удой, состав и сортность молока), значения которых определяются на стадии машинного доения.

Новый подход к модернизации процесса машинного доения. Машинное доение, по мнению авторов, занимает особое место в производстве молока. Во-первых, это единственный процесс, в котором происходит непосредственный механический контакт рабочих органов доильной установки с нежной плотью животного. Жесткий контакт приводит к необоснованному травмированию вымени животных. Во-вторых, это процесс, в результате которого получают данные о количестве и качестве конечного продукта – молока. Плохо организованный процесс машинного доения приводит к существенному снижению этих параметров, что ведет к повышению удельных затрат и таким образом сводит на нет усилия всего коллектива фермы. Если процедура доения и доильное оборудование не эффективны, то генетический потенциал и кормление высокопродуктивной коровы не имеют значения. В-третьих, информация о количестве и качестве молока, получаемая на стадии машинного доения, выполняет функцию обратной связи, что позволяет оценить эффективность любых новых мероприятий на стадии преддоильного содержания и, следовательно, в некоторой степени управлять ими.

Таким образом, несмотря на то что процесс машинного доения по затратам составляет менее 10 %, на практике он оказывает огромное влияние на величину коэффициента удельных затрат, определяя тем самым эффективность модернизации молочного животноводства.

Однако в настоящее время в машинном доении Беларуси существует целый ряд нерешенных проблем. Следствием этого являются относительно низкие удои (4,7 вместо 7–8 т/год для чернопестрой породы), низкий процент выхода молока сорта «экстра» (всего лишь 30 %), низкое лактационное долголетие животных (3 года вместо 5–6 необходимых для снижения удельных затрат), большой процент коров, которые выбывают из молочно-товарного производства из-за мастита (до 40 % от общего поголовья) [9]. Конечно, указанные недостатки обусловлены не только несовершенством самого машинного доения, но и условиями преддоильного содержания, и все-таки значительная часть из них может быть устранена на стадии машинного доения.

Как было отмечено, для концептуальной модернизации всего молочно-товарного производства необходимы новые подходы, основанные на привнесении в отрасль новых знаний из биологии,

техники, информатики. Это в первую очередь относится и к модернизации машинного доения, специфика которого заключается в том, что только в этом процессе происходит непосредственный контакт машины с живым существом, «функционирующим» не по законам механики, привычным для инженеров.

Процесс доения (молоковыведение) является не менее сложным биохимическим процессом, чем образование молока. Поэтому прежде чем перейти к обоснованию нового стереотипа машинного доения, кратко сформулируем основные научные результаты биохимии молокообразования и молоковыведения, которые должны быть использованы при разработке технических средств и параметров их функционирования, обеспечивающих эффективный процесс машинного доения.

Известно, что в начале процесса доения часть молока находится в альвеолах, а другая – в протоках и цистерне вымени (25 %). Процесс молоковыведения, инициируемый безусловным рефлексом, начинается с момента, когда корова получает сигналы из окружающей среды. Преддоильная стимуляция, включающая раздражение рецепторов вымени и сосков (обмывание, массаж), передается через гипоталамус в гипофиз, который выделяет гормон окситоцин. Через 40–70 с после начала стимуляции этот гормон с током крови достигает вымени и вызывает сокращение миоэпителиальных клеток, окружающих альвеолы и гладкую мускулатуру молочных протоков, в результате чего молоко изгоняется в цистерну железы и соска (припуск молока). Преимущества, которые дает правильно организованная фаза преддоильной стимуляции, это более короткое время доения, большой поток молока и эффективное извлечение молока [10].

Быстрое разрушение (в течение 3–5 мин.) окситоцина в организме прекращает действие рефлекса молокоотдачи. Цистернальное молоко может выводиться под комплексным действием разрежения и механических пульсаций, однако этим методом нельзя обеспечить забор альвеолярного молока. Если уровень окситоцина становится слишком низким, освободить молочные железы от выработанного молока полностью и равномерно невозможно [11].

Процесс молоковыведения может активизироваться не только за счет безусловного рефлекса, но и за счет приобретенного условного. Условнорефлекторное влияние осуществляется через кору больших полушарий головного мозга. Возбуждения, возникающие здесь при подготовке коровы к доению, поступают в промежуточный мозг и далее к гипофизу. Повторяющиеся процедуры при доении, не нарушающие комфортности и добровольности действий коровы, приводят к формированию условного рефлекса и повышают эффективность машинного доения.

Установлено, что последние порции альвеолярного молока обладают жирностью 15–20 %, а первые порции цистернального молока – всего 0,8–1,5 %, поэтому для получения молока высокого качества важно опорожнять вымя как можно более полно [11, 12].

Протеин, содержащийся в остаточном альвеолярном молоке, который с помощью отрицательной обратной связи воздействует на секреторные клетки вымени, подавляет интенсивность биосинтеза молока. Ввиду того что он напрямую воздействует на секреторные клетки, важно опорожнять альвеолы как можно тщательнее. Однако стремление максимально опорожнить вымя не означает, что необходимо передаивать животных, так как это может ухудшить состояние вымени и привести к маститу.

Адреналин – антагонист окситоцина. Известно, что любой стресс во время доения приводит к выработке адреналина, который нейтрализует окситоцин, что ведет к потере надоев [12, 13]. Наличие стрессовой ситуации при доении связано с включением инстинкта самосохранения и выделением в кровь гормона адреналина, который мобилизует организм животного и блокирует многие его функции, в том числе действие окситоцина и весь процесс молоковыведения [14].

Мастит – это воспаление молочной железы, вызванное бактериальной инфекцией или травмой. Рост бактерий сопровождается выделением метаболитов и токсинов, которые активизируют защитные механизмы в организме коровы. Воспаление вызывает увеличение соматических клеток от 100 000 кл/см³ (и менее) до нескольких миллионов. Клинический мастит бывает достаточно легко обнаружить: сворачивание и изменение цвета молока, молочная железа становится тяжелой, наблюдается ее покраснение и опухание, а в тяжелых случаях у коровы повышается температура и пропадает аппетит. Субклинический мастит обнаружить труднее, так как молоко и само

вымя кажутся нормальными на вид, в то время как в молоке увеличивается содержание соматических клеток [15]. Удельная электропроводность молока при температуре 25 °С колеблется от 0,4 до 0,55 при средней величине 0,5 См/м. При заболевании животных увеличивается содержание солей в молоке, и вследствие этого электропроводимость его повышается и достигает при мастите от 0,65 до 1,3 См/м.

Задача процесса машинного доения заключается в том, чтобы реализовать эффективное выдаивание коровы. Под эффективным выдаиванием будем понимать физиологически щадящее быстрое (только за время действия окситоцина) и полное (практически полный забор альвеолярного молока с гарантированным остаточным слоем цистернального молока) доение, позволяющее реализовать следующие технологические параметры: максимальный удой; максимальная жирность молока; минимальное содержание соматических клеток; полное исключение сухого доения; поддержание комфортного состояния коровы во время доения; полное отсутствие стрессовых реакций на доильное оборудование; устранение самозапуска животных; формирование условного рефлекса на машинное доение; стимуляция дальнейшего увеличения молокообразования.

Как было отмечено выше, наличие в крови гормона адреналина блокирует действие окситоцина, что делает невозможным забор альвеолярного молока. Установлено, что основная причина стресса, который возникает в процессе машинного доения – это болевые ощущения животного, вызываемые грубым механическим и гидродинамическим воздействием рабочих органов доильного оборудования на нежную плоть животного, находящуюся под вакуумным разрежением. Самым травмирующим элементом доильного оборудования в настоящее время является неоптимальный уровень разрежения, нестабильность и пульсационная неустойчивость разрежения в рабочем вакуумном контуре доения, который выполняет функцию забора молока из вымени коровы и его транспортирования в емкости для сбора и охлаждения. Неэффективное («не умное») оборудование приводит к вакуумному травмированию вымени, что ведет к стрессу коров, который выражается в выбросе большого количества адреналина (блокировка окситоцина), подавляющего естественный рефлекс молокоотдачи. Относительно большое количество остаточного альвеолярного молока снижает удой, жирность молока, повышает вероятность самозапуска коров. Кроме того, систематические стрессы повышают вероятность заболевания маститом, что, в конечном итоге, снижает долю молока «экстра».

Анализ существующих методических подходов и технических средств для поддержания стабильности разрежения в рабочем контуре доения показывает, что использование одного или двух вакуум-регуляторов мембранного или пружинного действия в традиционном контуре доения и только на магистральном участке трубопроводов не может обеспечить эффективный контроль стабильности разрежения на всех участках рабочего контура [16]. Кардинальным техническим решением, направленным на эффективное устранение стресса от неустойчивости разрежения, является разработка и внедрение стабилизированного рабочего контура разрежения. В работе [16] приведены основные элементы стабилизированного рабочего контура, характеристики доильных аппаратов и параметры эффективных вакуумных пульсаций. Стабилизация достигается за счет дополнительного введения регулирующих воздушных и вакуумных клапанов на каждом доильном месте, с разработкой программы автоматизированного контроля, что обеспечивает малоинерционное поддержание уровня разрежения на каждом участке рабочего контура доения. В результате внедрения стабилизированного рабочего контура показатель стабильности разрежения ϵ , выраженный в виде произведения амплитуды отклонения вакуума на время его восстановления, равен 10 кПа·с (в соответствии с существующим нормативом [17] не должен превышать 20 кПа·с), давление разрежения в диапазоне 42–48 кПа поддерживается с точностью 0,5 %.

Наряду с вакуумным рабочим контуром важными элементами снижения стресса являются доильный стакан и его составляющая – сосковая резина – главные рабочие органы, контактирующие с выменем животного. От их геометрических параметров и качества конструкционных материалов во многом зависит эффективность машинного доения. Следует особо отметить вли-

яние толщины, упругости и эластичности сосковой резины на качество обеспечения процесса в тактах сжатия и сосания – свойства ее не должны изменяться [16].

Так как эффективное выдаивание происходит только при наличии гормона окситоцина в крови животного, то основная задача машинного доения состоит в том, чтобы синхронизировать эти процессы по времени для обеспечения полного и комфортного выдаивания. Следует организовать процесс машинного доения таким образом, чтобы он начинался в момент достижения максимальной концентрации окситоцина после преддоильной стимуляции и заканчивался, во избежание сухого доения, в момент прекращения действия окситоцина при снижении скорости молокоотдачи, например, 0,2 кг/мин. Оптимальная скорость в основной период доения должна составлять 1,5–2,5 кг/мин.

С учетом физиологического подхода к машинному доению предложена научная гипотеза, которая заключается в том, что эффективное выдаивание молока достигается только при условии, когда скорость выведения молока из цистерны вымени должна равняться скорости его поступления из альвеол в цистерны вымени:

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

где $V_{\text{д}}$ – скорость выведения молока из цистерны вымени (молокоотдача), кг/мин.; $V_{\text{ал}}$ – скорость поступления молока из альвеол в цистерну вымени, кг/мин.

Если $V_{\text{д}} > V_{\text{ал}}$, то за короткое время удаляется молоко из цистерны, и при достижении установленной критической скорости молокоотдачи (например, 0,2 кг/мин.) доение прекращается, при этом альвеолы в значительной степени остаются заполненными. В результате – малый надой, малая жирность, начало самозапуска коровы и повышенный риск заболевания маститом.

Если $V_{\text{д}} < V_{\text{ал}}$, то повышается избыточное давление в цистерне, которое создает препятствие для выхода молока из альвеол в цистерну вымени, что приводит к стрессу и выработке адреналина, который нейтрализует окситоцин и прекращает вывод молока. Результат тот же, что и в первом случае.

Под полным выдаиванием авторы имеют в виду такой процесс, при котором забирается все молоко из альвеол, а остаточное молоко находится только в цистерне вымени. Полное опорожнение альвеол стимулирует в дальнейшем эффективное молокообразование, так как освобожденные альвеолы сигнализируют о нехватке молока, и процесс молокообразования усиливается. В противном случае остаточное молоко в альвеолах через обратную связь, реализуемую протенином, осуществляет преждевременный самозапуск коровы. Кроме того, остаточное альвеолярное молоко значительно увеличивает вероятность заболевания маститом. Критерием полноты выдаивания является жирность молока, так как первая порция молока, забираемого из цистерны, содержит 0,8–1,0 % жира, а последнее альвеолярное молоко – 8–10 % жира, поэтому среднее содержание жира в молоке у коров при условии полного выдаивания является максимальным.

Если при полном выдаивании забирается все альвеолярное молоко, то под остаточным понимается молоко, которое остается в протоках и цистернах вымени. Остаточное молоко является барьером, защищающим внутреннюю область вымени от проникновения в него вакуума, который неизбежно приводит к травмированию внутренних нежных тканей и повышает вероятность заболевания маститом. Поэтому для наличия остаточного молока необходимо обеспечить своевременное окончание процесса доения. Процесс доения должен быть прекращен при уменьшении скорости молокоотдачи до значения 0,2–0,6 кг/мин. в зависимости от продуктивности животных.

Таким образом, полное выдаивание – залог высокой продуктивности коров (высокие удои) и высокого качества молока (высокая жирность и низкая концентрация соматических клеток). Следует еще раз подчеркнуть, что полное выдаивание может быть реализовано только при условии комфортного состояния животного при любом стереотипе машинного доения. И хотя процесс молокоотдачи является рефлекторным биохимическим процессом, одна из основных задач машинного доения – сформировать условный рефлекс молокоотдачи, который поддерживает комфортное самочувствие коровы в процессе машинного доения. Добиться этого можно только при полной синхронизации процесса машинного доения и биохимических процессов, протекающих в молочной железе при машинном доении.

Исходя из приведенного выше анализа, сформулируем основные стратегические направления формирования стереотипов машинного доения.

1. Стереотипы машинного доения предопределяются стереотипами преддоильного содержания, что связано с необходимостью гармонизации двух важнейших функций коровы – молокообразования и молокоотдачи.

2. Отсутствие стресса – необходимое условие создания стереотипов машинного доения, так как наличие гормона адреналина в крови животного несовместимо с молокоотдачей.

3. Комфортное состояние животного – важнейшее достаточное условие обеспечения эффективного выдаивания, которое обеспечивается синхронизацией по времени двух процессов – процесса доения и нахождения гормона окситоцина в крови.

4. Информационные управляющие системы – эффективный инструмент перевода молочно-товарного производства на новый уровень рентабельности, в условиях непрерывного мониторинга и анализа информации на всех уровнях, включая как отдельное животное, так и все стадо (управление фермой через сбор данных от каждой коровы).

Информационный подход к созданию стереотипов машинного доения. Для достижения максимального эффекта молочно-товарного производства в общем случае доильное оборудование должно подстраиваться под каждую корову.

Очевидно, что эта, казалось бы, чрезвычайно сложная и невыполнимая задача (подстройка доильного оборудования под индивидуальные особенности и физиологическое состояние каждой коровы) может быть выполнена только на базе применения информационных управляющих систем, когда управление всей фермой осуществляется на базе непрерывного сбора, анализа и хранения большого количества индивидуальных данных о животных. Базовым условием для новой концепции является применение ИУС для управления всеми процессами МТФ, в том числе определение оптимальных факторов машинного доения.

В данной работе под ИУС подразумеваются системы, включающие три составляющие: 1) систему биологических, термодинамических, энергетических, физико-механических датчиков с требуемой точностью, быстродействием и эффективностью (в будущем – это биологические датчики); 2) программное обеспечение – это программы по сбору, хранению информации и созданию баз данных; используя аналоговые и цифровые сигналы датчиков; 3) программы, реализующие автоматическую обработку полученной информации по заданным алгоритмам, на основе которой принимаются решения; 4) материализация принятого решения при создании стереотипов машинного доения.

Перечислим основные задачи, которые могут быть решены при использовании ИУС на молочных фермах и комплексах:

– ранжирование стада по группам, обладающим однородностью по физиологическим, возрастным и другим зоотехническим параметрам. Это чрезвычайно важно для промышленного производства молока на крупных МТФ и МТК, в условиях высокопроизводительного доения и поточного обслуживания дойного стада. Однородная группа коров характеризуется следующими параметрами: 1) отклонение массы коров от средней массы по группе $\pm 10\%$; 2) одинаковый биологический возраст; 3) одинаковый лактационный период; 4) одинаковое в пределах 5% от среднегрупповой величины значение удоев; 5) одинаковая в пределах 5% от среднегрупповой величины скорость молокоотдачи; 6) одинаковая жирность молока в пределах 1% от среднегрупповой величины.

– оптимизация численности стада для получения минимальных удельных затрат, исходя из величины удельных затрат. Очевидно, что для различного уровня механизации, породы лактирующих коров и конечной молочной продукции (сыр, масло, сухое молоко и т. п.) оптимальная величина дойного стада будет различной;

– выбраковка коров, не пригодных к машинному доению, что способствует получению породы коров, генетически пригодных к машинному доению (высокая скорость молоковыведения молока из альвеол молочной железы $1,5\text{--}2,5$ кг/мин, форма вымени и сосков и др.);

– прогнозирование выхода молока за весь лактационный период по отдельным животным, группам и всему стаду;

– создание электронной базы данных, позволяющей управлять как отдельной фермой, так и молочно-товарным производством в пределах страны;

– проектирование и производство технологического доильного оборудования на базе индивидуальных данных о животных;

– оценка эффективности новых мероприятий как на стадиях преддоильного содержания, так и машинного доения. Такой подход является математическим выражением обратной связи управления всем стадом.

Таким образом, внедрение ИУС путем учета физиологического состояния и индивидуальных особенностей каждой особи позволило решить две принципиально различные задачи:

1) управление процессами преддоильного содержания, направленными на повышение эффективности молочной продуктивности стада. Индивидуализация процессов машинного доения под каждую корову на основе количественных и качественных результатов основного процесса – доения – позволяет непрерывно оценивать эффективность изменения рационов кормления, параметров содержания животных и выдавать рекомендации для проектирования оборудования для реализации сопряженных процессов и проведения своевременной ветеринарной профилактики;

2) управление и создание оптимальных стереотипов машинного доения под любое поголовье коров, различающихся генетической породой, способами содержания и кормления животных, что позволяет существенно снизить удельные затраты при производстве молока и повысить рентабельность молочно-товарного производства без дополнительных инвестиций.

Критерии оптимизации и факторы для разработки эффективного машинного доения. Как уже было сказано выше, основная задача машинного доения заключается в эффективном выдаивании группы коров, примерно одинаковых по возрастным, физиологическим и индивидуальным параметрам независимо от условий преддоильного содержания. Эффективное доение характеризуется следующими количественными и качественными параметрами: 1) полное выдаивание предполагает, тем не менее, остаточное молоко, которое должно быть минимально возможным по объему (≈ 200 – 600 мл). Остаточное молоко блокирует проникновение вакуума во внутреннюю полость вымени, предотвращая тем самым сухое доение, приводящее к травмированию нежных тканей молочной железы и вызывающее заболевание маститом. Остаточное молоко должно находиться в цистернах вымени, а не в альвеолах молочной железы. Полное удаление альвеолярного молока существенно повышает его важнейший параметр – содержание жира, так как хорошо известно, что последние капли альвеолярного молока имеют жирность более 10 % [18]. Полное опорожнение альвеол стимулирует дальнейшее увеличение биосинтеза молока с одновременным увеличением его жирности; 2) быстрое доение, синхронизированное по времени со временем нахождения гормона окситоцина в организме коровы. Нецелесообразно начинать доение прежде чем появится окситоцин в альвеолах молочной железы (≈ 40 – 70 с), нецелесообразно продолжать доение после того, как он прекратит свое действие (после 5–6 мин). Доение без окситоцина лишает корову комфортного состояния, вызывает стресс, увеличивает вероятность заболевания маститом, увеличивает содержание в молоке соматических клеток, ухудшая тем самым сортность молока.

Таким образом, эффективное доение (полное и быстрое) позволяет получить от коровы максимально возможное количество молока с максимально возможной жирностью и минимально возможной концентрацией соматических клеток независимо от породы, физиологических и индивидуальных особенностей группы коров.

В данной работе для оценки эффективности процесса машинного доения приняты 3 параметра, которые позволяют контролировать процесс с точки зрения количества и качества молока, что, в конечном счете, позволит создать стереотип машинного доения с минимально возможными удельными затратами, тем самым повысить рентабельность и конкурентоспособность молочной продукции.

Параметр Y_1 – электропроводимость молока (См/м). Этот параметр характеризует качество молока (жирность) и здоровье коровы (концентрация соматических клеток). Обоснуем каждое из этих утверждений.

При полном выдаивании, т. е. при полном освобождении альвеол от молока под действием гормона окситоцина, молоко обладает, как было отмечено, максимально возможной жирностью.

Также известно, что чем выше жирность молока, тем ниже его электропроводимость [14]. Поэтому низкое значение электропроводимости молока свидетельствует о его относительно высокой жирности, а значит, о полноте выдаивания. Как утверждают биологи, заболевание маститом сопровождается увеличением концентрации соматических клеток с одновременным уменьшением содержания жира в молоке. Оба эти явления приводят к повышению электропроводимости молока. Поэтому повышение электропроводимости – один из признаков заболевания коровы маститом. Трехразовый суточный контроль электропроводимости молока позволяет выявить заболевание на ранней стадии (субклинический мастит), что существенно повышает эффективность лечения. Таким образом, увеличение электропроводимости молока – это сигнал о заболевании животного.

Подводя итоги сказанному, можно отметить, что параметр Y_1 косвенно характеризует полноту выдаивания, качество молока, концентрацию соматических клеток в молоке, физиологическое здоровье коровы, а значит и ее комфортное ощущение при доении. При эффективном доении, обеспечивающем высокое качество молока и хорошее здоровье коровы, параметр Y_1 находится в диапазоне 0,44–0,48 см/м. При этом следует добавить, что если измерение электропроводимости молока одновременно сопровождается независимым измерением его жирности, то наличие этих двух параметров позволит более точно интерпретировать результаты машинного доения.

Параметр Y_2 – скорость молокоотдачи. Определяется как средняя скорость при доении коровы и равна отношению массы молока, полученного при доении, к времени доению, кг/мин. Время доения определяется как время от момента подключения коровы к стабилизированному рабочему контуру разряжения до момента, когда скорость молокоотдачи будет равна, например, 0,2 кг/мин. Этот параметр характеризует уровень синхронизации машинного доения с биохимическим процессом молокоотдачи, контролируемый присутствием окситоцина в молочной железе коровы. Например, нет смысла начинать процесс доения, пока концентрация окситоцина не достигнет требуемого уровня. Также нет смысла продолжать процесс доения, когда концентрация окситоцина станет ниже критической. Доение коровы при дефиците окситоцина приводит к быстрому забору молока из цистерны вымени и повышает вероятность сухого доения, т. е. вакуумного травмирования, которое существенно повышает вероятность заболевания коров маститом. В этом случае существенно уменьшаются количество выдоенного молока и значительно ухудшается его качество, что автоматически повышает удельные затраты при производстве молока и сводит на нет усилия всего коллектива молочной фермы. Оптимальная скорость молокоотдачи для коров с удоем 15–30 л/сут. находится в интервале 1,5–2,5 л/мин.

Параметр Y_3 – это удои молока (кг/сут), напрямую количественно характеризующий полноту выдаивания, которая зависит от физиологического состояния и индивидуальных особенностей коров, от времени суток, лактационного периода, а также стереотипов преддоильного содержания (см. рис. 2).

Все три параметра Y_1 , Y_2 , Y_3 зависят от целого ряда факторов, которые характеризуют процесс машинного доения. Эти факторы имеют принципиально различную природу и могут быть физико-механическими, технологическими, теплофизическими, термодинамическими, биологическими, физиологическими, генетическими. Поэтому важнейшая задача при разработке эффективного процесса машинного доения – произвести обоснованный выбор факторов, существенно влияющих на процесс молокоотдачи, на его стабильность во времени, а также на здоровье животных. Наличие факторов принципиально различной природы делает практически невозможным детерминированное моделирование процесса машинного доения, но оставляет возможность сделать это с позиции стохастического моделирования.

Для моделирования, управления и оптимизации процессом машинного доения в данной работе в качестве наиболее значимых были выбраны 4 фактора.

Первый фактор X_1 – абсолютное значение уровня давления разрежения в стабилизированном рабочем контуре:

$$X_1 = p_0 - p, \quad (4)$$

где p_0 – атмосферное давление, кПа; p – давление в стабилизированном рабочем контуре, кПа.

Разрежение, создаваемое в рабочем контуре вакуумным насосом, обеспечивает забор молока из вымени коровы и транспортирование молока в технологические емкости. В результате экспериментов установлено, что наиболее комфортный диапазон разрежения 42–48 кПа. Разрежение менее 42 кПа затрудняет получить требуемую скорость доения, в то же время разрежение более 48 кПа приводит зачастую к нежелательному травмированию вымени коровы.

Второй фактор X_2 (безразмерный параметр) – соотношение тактов сжатия и сосания. При машинном доении применяются, как правило, двухтактные доильные аппараты, в которых смыкание сосковой резины в зоне кончика соска вымени (такт сжатия) чередуется с разомкнутым ее состоянием (такт сосания). Такой принцип работы доильного аппарата соответствует принципу сосания теленком и ручного доения «кулаком». Соотношение тактов по времени является регулируемым техническим показателем, от которого зависит эффективность молоковыведения, поскольку длительность обоих тактов способна влиять на интенсивность молокоотдачи. Из практики известно, что приемлемый интервал соотношения тактов сжатия и сосания находится в диапазоне 0,4–1,0.

Третий фактор X_3 – время преддоильной стимуляции коровы (с). Известно, что выработка окситоцина перед началом доения при правильной подготовке животного длится ≈ 60 с. Это биохимический фактор стимулирует выработку окситоцина. Фактор X_3 состоит из двух отрезков времени – времени тактильной стимуляции вымени (от момента касания оператором вымени и кончиков сосков при массаже, очистке и ручном сдаивании первых струек молока) и времени ожидания припуска молока, после которого сразу должен начаться процесс машинного доения (надевание доильных стаканов и подключение их к рабочему контуру разрежения). Как правило, для тактильной стимуляции достаточно 20 с. Время ожидания припуска молока (время прихода гормона окситоцина, полученного в результате тактильной стимуляции, в молочную железу животного зависит от породы животного, а также физиологического состояния и индивидуальных особенностей коров и находится в диапазоне 20–40 с.

Четвертый фактор X_4 – среднесуточная температура преддоильного содержания коров (температура воздуха). Это температура, при которой происходит биосинтез молока в организме коровы в период между дойками. Следует отметить, что это единственный фактор, который характеризует, прежде всего, условия преддоильного содержания. Этот фактор в настоящее время практически не регулируется и целиком зависит от метеопогодных условий. Влияние этого фактора на суточный удой достаточно существенен, что является очевидным следствием закона сохранения энергии. Низкие температуры (ниже -10 °C) приводят к неэффективному биосинтезу молока (часть кормов расходуется на стабилизацию температуры тела коровы, кроме того, относительно низкие и относительно высокие температуры являются источником стресса, приводящего к выработке гормона адреналина, блокирующего выработку молока). Высокие температуры содержания (выше 25 °C) приводят к тепловому стрессу и также снижают скорость биосинтеза молока в период между доениями. Наиболее приемлемые температуры содержания коров, как установлено на практике, это 0 – 20 °C.

Очевидно, что физико-механические факторы X_1 и X_2 должны рассматриваться во взаимодействии с физиологическим фактором X_3 и технологическим фактором X_4 и настраивать доильное оборудование таким образом, чтобы оно не было источником травмирования, а наоборот, обеспечивало корове комфортные условия доения.

После введения существенных факторов методами стохастического моделирования технических систем проводится эксперимент, в результате которого находятся регрессионные зависимости: $Y_1(X_1, X_2, X_3, X_4)$, $Y_2(X_1, X_2, X_3, X_4)$, $Y_3(X_1, X_2, X_3, X_4)$. В общем случае для создания эффективного процесса машинного доения было бы очень хорошо найти такой комплекс факторов, при котором $Y_1 \rightarrow \min$, $Y_2 = V_{ал}$, в соответствии с (3), $Y_3 \rightarrow \max$. Однако с точки зрения математики одновременное выполнение таких требований невозможно. В связи с этим встает вопрос о формировании целевой функции, которая бы позволяла найти оптимальный набор факторов, при которых достигается минимально возможные удельные затраты при производстве молока.

В качестве критерия оптимального доения предлагается следующая целевая функция:

$$\begin{cases} X_{1 \min} \leq X_1 \leq X_{1 \max} \\ X_{2 \min} \leq X_2 \leq X_{2 \max} \\ X_{3 \min} \leq X_3 \leq X_{3 \max} \\ X_{4 \min} \leq X_4 \leq X_{4 \max} \\ Y_{2 \min} \leq Y_2 \leq Y_{2 \max} \\ Y_{3 \min} \leq Y_3 \leq Y_{3 \max} \\ Y_1 \rightarrow \min \end{cases} \quad (5)$$

Целевая функция (уравнение (5)) ориентирована на получение молока с максимально возможной жирностью и с максимальной долей сорта «экстра», а также на сохранение здоровья лактирующего стада. Так как процесс машинного доения характеризуется несколькими параметрами, определяющими такие показатели молока, как величина удоев, жирность, количество соматических клеток, здоровье коров, удельные энергозатраты, принцип формирования целевой функции заключается в факторных и функциональных ограничениях, отражающих биотехнические закономерности, технические возможности машинного доения и экономическую целесообразность производства молока.

Таким образом, принцип высокопроизводительного физиологически щадящего машинного доения, положенный в основу создания стереотипов машинного доения, является основным принципом проектирования и разработки доильного оборудования и режимов его функционирования. При разработке стереотипов машинного доения неперенным условием является учет биохимических закономерностей молокоотдачи, что находит отражение в синхронизации машинного доения с биохимическим процессом молокоотдачи. Принцип поддержания комфортного состояния животных положен в основу создания нового технологического оборудования; его невозможно реализовать без учета физиологического состояния и индивидуальных особенностей лактирующих коров. При этом основной критерий оптимизации машинного доения заключается в получении наилучших удельных показателей за весь многолетний период лактации (жизненный цикл): минимальное количество маститных коров, наилучшие надои молока по количеству и качеству (максимум «экстра» и жирности), минимальные удельные затраты на единицу нормализованной продукции.

Физиологический подход позволяет эффективно выдоить любую группу коров, различающихся по продуктивности, скорости молокоотдачи, физиологическому состоянию и индивидуальным особенностям.

Выводы

1. Перевод существующего молочно-товарного производства на более высокий уровень рентабельности возможен только на основе системного подхода в формировании его инфраструктуры, причем центральное место в биотехнической системе «человек–машина–животное» должен занимать биологический объект – корова. Показано, что машинное доение обладает специфической функцией, так как результаты его являются оценкой усилий всего коллектива фермы. Именно на стадии машинного доения формируются критериальные оценки, которые выполняют функцию обратной связи для совершенствования процессов преддоильного содержания коров. Стереотипы преддоильного содержания и машинного доения должны быть функционально гармонизированы между собой и направлены на эффективную реализацию двух производственных функций коровы – молокообразование и молоковыведение.

2. Эффективным процессом машинного доения является такой процесс, в котором отсутствуют источники стресса для животных. Так как процесс молокоотдачи является сложным биохимическим процессом с нейрогуморальным регулированием, вырабатываемый при стрессе гормон адреналин препятствует молоковыведению. Установлено, что основной причиной стресса при

машинном доении является силовое воздействие на вымя коровы при механическом и гидродинамическом контакте рабочих органов доильного оборудования, находящихся под вакуумным разрежением, с нежной плотью животного. Установлено, что 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 разработан и внедрен стабилизированный рабочий контур, который за счет системы воздушных и вакуумных клапанов, а также программного обеспечения поддерживает в автоматическом режиме номинальное давление разрежения в диапазоне 42–48 кПа с точностью 0,5 % и коэффициентом стабильности разрежения 10 кПа·с.

3. 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. Эффективное выдаивание обеспечивает высокие удои и высокое качество молока (низкая концентрация соматических клеток и высокая жирность) при относительно низких удельных затратах. При этом идеальный режим машинного доения должен состоять из трех этапов: 1) преддоильная стимуляция ≈ 60 с; 2) основная фаза доения со скоростью 1,5–2,5 кг/мин; 3) прекращение процесса доения при снижении интенсивности молокоотдачи до 0,2–0,6 кг/мин.

4. Эффективность стереотипов машинного доения, с точки зрения удельных затрат при производстве молока, количественно характеризуют три параметра: электропроводимость молока, скорость молокоотдачи в процессе доения и суточный удой. В качестве существенных факторов, варьируемые 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).

5. Создание эффективных стереотипов машинного доения может быть реализовано только при условии комфортного состояния коровы в процессе доения, что невозможно без учета физиологического состояния и индивидуальных особенностей животных. Показано, что перевод молочного животноводства на мировой уровень невозможен без применения информационных управляющих систем, которые за счет базы данных, формируемой с учетом физиологического состояния и индивидуальных особенностей отдельных животных, параметров преддоильного содержания и параметров машинного доения, позволяют реализовать оптимальное управление производством молока на ферме.

Применение информационных управляющих систем позволяет решить принципиально различные задачи:

- выбраковка коров, непригодных к машинному доению, что способствует получению породы коров, генетически пригодных к машинному доению (высокая скорость молоковыведения молока из альвеол молочной железы 1,5–2,5 кг/мин. форма вымени и сосков и другие);

- прогнозирование выхода молока за весь лактационный период по отдельным животным, группам и всему стаду;

- создание электронной базы данных, позволяющей управлять как отдельной фермой, так и молочно-товарным производством в пределах страны;

- проектирование и производство технологического доильного оборудования на базе индивидуальных данных о животных;

- создание оптимального стереотипа машинного доения под любую группу коров, характеризующуюся генетическим потенциалом, способами кормления, содержания и ветеринарного обслуживания, с минимальными удельными затратами;

- оценка эффективности новых мероприятий, направленных на повышение молочной продуктивности стада в стереотипах преддоильного содержания на основе количественных и качественных результатов основного процесса – доения, позволяет непрерывно оценивать эффективность изменения рационов кормления, параметров содержания животных и выдавать рекомендации по проектированию оборудования для реализации сопряженных процессов и проведения своевременной ветеринарной профилактики.

Литература

1. Требования к потреблению пищевых веществ и энергии для различных групп населения Республики Беларусь : санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы : Утв. 14.03.2011 г. , №16.
2. Мелещеня, А. В. Закономерности развития отечественного и мирового рынка молока в условиях расширения международных торгово-экономических связей / А. В. Мелещеня, М. Л. Климова. – Минск: Ин-т мясо-молочной промыш., 2012. – 352 с.
3. Рынок продовольствия и сырья: 8. Молоко / З. М. Ильина [и др.]; под ред. З. М. Ильиной. – 2-е изд., перераб. и доп.– Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2009. – 250 с.
4. Беларусь и страны мира: сб. стат. информ. / М-во статистики и анализа. – Минск, 2010. – 271 с.
5. Food Outlook: Glob. Market Analysis / FAO Statistical Yearbook, May 2012. – Rome, 2012. – P. 121.
6. Шульгин, А. М. Агрометеорология и агроклиматология / А. М. Шульгин. – Л., 1978. – 197с.
7. Кукреш, Л. В. Сытный ли рацион у коров и что сделать для его улучшения? / Л.В. Кукреш, В.М. Шлапунов // Беларус. нива. – 2013. – 19 февр. – №31. – С. 2.
8. Китиков, В. О. Анализ технологий производства молока в контексте гармонизации нормативных требований со стандартами Европейского Союза / В.О. Китиков, А.А. Музыка // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2007. – № 4. – С. 105–108.
9. Музыка, А. А. Важно все, в том числе и ... темперамент / А. А. Музыка // Беларус. нива. – 2011. – 3 ноябр. – № 10.
10. Фольдагер, И. Биохимия лактации / И. Фольдагер, Б. Сейрсен. – М.: Мелькор, 1990. – 314 с.
11. Любин, Н. А. Физиология лактации. Физиологические основы машинного доения коров / Н. А. Любин. – Ульяновск: УГСХА, 2004.- 25 с.
12. Кугенев, П. В. Практикум по молочному делу / П. В. Кугенев, Н. В. Барабаншиков. – М.: Агропромиздат, 1988. – 224 с.
13. Барановский, М. В. Повышение качества молока при машинном доении коров / М. В. Барановский, А. С. Курак, Т. Агейчик // Гл. зоотехник. – 2006. – № 6. – С. 70–71.
14. Гарькавый, Ф. Л. Селекция коров и машинное доение / Ф. Л. Гарькавый. – М.: Колос, 1974. – 160 с.
15. Тараторкин, В. М. Ресурсосберегающие технологии в молочном животноводстве и кормопроизводстве / В. М., Тараторкин, Е. Б. Петров. – М.: Колос, 2009.- 376 с.
16. Китиков, В. О. Ресурсоэффективные технологии производства молока / В. О. Китиков ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, 2011. – 233 с.
17. ISO 6690:1996 – ISO 20966:2007 / Milkingaut. Machine Installation, Mechanical test. International Standards Organization. – Geneva, Switzerland, 2008.
18. Кокорина, Э. П. Условные рефлексы и продуктивность животных / Э. П. Кокорина. – М: Агропромиздат, 1986. – 278 с.

V. O. KITIKOV, A. N. LEONOV

STRATEGIC DIRECTION IN THE DEVELOPMENT OF DAIRY MACHINE

Summary

On the basis of the analysis of tendencies in dairy production and new knowledge a conceptual approach to the design of the equipment for dairy machine is suggested taking into account technical and physiological parameters. A new methodology to analyze energy consumption is also proposed.