



THE INFLUENCE OF NATURAL AND INDUSTRIAL FACTORS ON THE EFFICIENCY OF THE DAIRY INDUSTRY¹

Vadim Kitikov^{a*}, Waclaw Romaniuk^b

^a Republican Unitary Enterprise Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, Republic of Belarus

^b Institute of Technology and Life Sciences, Warsaw, Poland

* Corresponding author: e-mail: kitsikau@tut.by

ARTICLE INFO

Article history:

Received: January 2017

Received in the revised form:

March 2017

Accepted: March 2017

Key words:

milk production,

physiologically relaxed process,

milking equipment,

costs per unit

ABSTRACT

A comparative analysis of milk production in Poland and Belarus was carried out. The basic tendencies of modern development of the dairy industry and offered upcoming trends of innovative modernization of milk production processes were analyzed. On the basis of the analysis of trends in the global production of milk and new scientific knowledge on the biosynthesis of milk, a conceptual approach to the design of equipment for machine milking, is provided, considered the relationship of technical and physiological parameters.

Введение

В природе молоко не имеет равного себе продукта по биологической ценности. В его состав входят 250 важных для человека веществ, необходимых для нормального обмена веществ (белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, витамины). В связи с тем, что биологическая норма потребления молока и молочных продуктов составляет 380 (кг·чел.)·год⁻¹, потенциальный объем мирового потребления должен быть не менее 2 млрд т·год⁻¹, что втрое превышает реальный объем производства молока (0,71 млрд т·год⁻¹). По мнению Организации объединенных наций (ООН), к 2025 году производство молока должно быть увеличено минимум на 50%: для обеспечения растущей потребности населения Земли, а также в качестве эффективного средства для борьбы с голодом в развивающихся странах.

¹ Приведенные в статье результаты, касающиеся Республики Польша, получены Вацлавом Романюком в рамках проекта п.н. "Междисциплинарные исследования в области повышения энергоэффективности и увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе польского сельского хозяйства", Договор № BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015 11.08.2015 г., финансируемый Национальным центром научных исследований и разработок (NCBiR) в рамках программы BIOSTRATEG 1

Следует также отметить, что в коммерческом плане молочные продукты являются товаром, легко реализуемым на рынке. Однако мировой экспорт молочных продуктов равен всего 46 млн. т/год, что составляет 3% от потребности стран, не производящих молоко в достаточном количестве (Беларусь и страны мира, 2015; Food Outlook: Glob. Market Analysis, 2015).

Таким образом, можно сделать вывод: в связи с тем, что мировой рынок молочных продуктов весьма далёк от своего насыщения, в странах, которые обладают благоприятными природно-производственными условиями, совершенствование молочной отрасли является актуальной, масштабно значимой задачей, направленной на материальное и гуманитарное развитие мирового сообщества в целом. К этим странам относятся Польша и Беларусь.

Климатические и производственные условия для производства молока в Польше и Беларуси

Молочное животноводство Польши и Беларуси в настоящее время достигло достаточно высоких количественных результатов – 10,6 и 6,7 млн. т·год⁻¹ молока, соответственно. Средний удой составляет 5,6 и 5,1 (т·гол⁻¹)·год⁻¹ соответственно. По официальным данным Польша занимает 16-е, а Беларусь 21-е место в мире по темпам роста производства молока (www. agroatlas.ru). По удельному объёму производимого молока на 1 жителя также высокие показатели – 350 (кг·чел⁻¹)·год⁻¹ в Польше и 700 (кг·чел⁻¹)·год⁻¹ в Беларуси (Таблица 1).

Следует отметить, что важнейшим фактором устойчивого развития молочного животноводства являются природно-климатические условия для производства кормов. Оптимальное соотношение температуры и влажности для конкретных территорий количественно определяется гидротермическим коэффициентом:

$$k_{\Gamma} = \frac{10R}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (1)$$

где:

- R – сумма осадков, проникающих в почву за вегетационный период, состоящий из n дней, (мм)
- n – количество дней, среднесуточная температура в которых превышает 10°C
- T_i – среднесуточная температура в i -й день, (°C), $i=1, \dots, n$.

Известно, что для производства молока благоприятными являются территории, для которых гидротермический коэффициент изменяется в интервале $1,4 \leq k_{\Gamma} \leq 1,6$ (www. agroatlas.ru): относительно большое количество осадков и умеренные температуры способствуют сохранению влаги в верхнем слое почвы, что создает хорошие условия для роста зелёных стебельчатых кормов. Географические соседи Польша и Беларусь имеют подходящие условия для развития молочного животноводства, так как для них $k_{\Gamma} = 1,4-1,5$ (Рис. 1).

Таблица 1.
Удельное производство молока, 2015 год

Страна	(кг·чел ⁻¹)·год ⁻¹
Новая Зеландия	3400
Ирландия	1200
Голландия	700
Беларусь	700
Польша	350
Германия	350
США	280
Англия	250
Россия	220

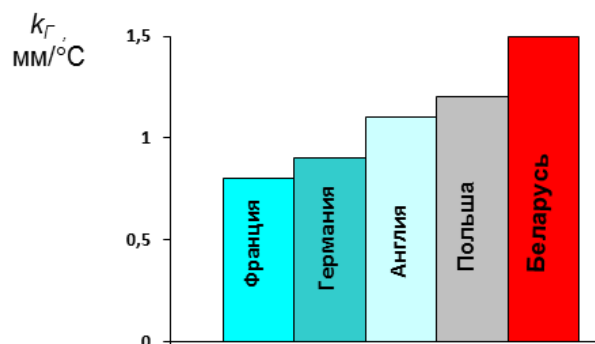


Рисунок 1. Гидротермический коэффициент территорий

Другим благоприятным фактором развития молочного животноводства в наших странах является развитая материально-техническая база и высокий промышленный потенциал сельхозмашиностроения. Кроме того, сформированы эффективные научно-исследовательские и образовательные центры подготовки научных и технических кадров: 5 специализированных научно-исследовательских организаций (касается молочной отрасли) и 4 аграрных университета в Беларуси и более 20 исследовательских центров и аграрных университетов в Польше.

Учитывая в целом благоприятные природно-климатические условия, высокий промышленный и научно-технический потенциал, а также мировой дефицит молочных продуктов, можно сделать вывод о том, что молочное животноводство и в Польше, и в Беларуси в перспективе должно быть приоритетным направлением развития сельского хозяйства.

Таблица 2.
Производство молока в расчете на 100 га сельхозугодий

Страна	(т·100 ⁻¹ га)
Польша	80
Беларусь	78
Франция	85
Великобритания	94
Германия	160
Голландия	180

Вместе с тем сравнительный анализ производства молока в Европе свидетельствует о том, что с целью повышения рентабельности и конкурентоспособности молочной продукции необходимо не только наращивать общие объемы производства, но и постоянно снижать производственные затраты.

Так, удельный объем молока, получаемого в Польше и Беларуси с площади сельхозугодий, составляет 80 и 78 т·100⁻¹ га соответственно (Таблица 2), что в 2 раза ниже, чем, например, в Германии, хотя значение гидротермического коэффициента для наших территорий предпочтительнее (Рис. 1).

Несмотря на то, что в молочной отрасли Польши и Беларуси существует много схожих тенденций развития, имеются три основные отличительные особенности: мощность объектов молочно-товарного производства, породные характеристики дойного стада и нормативно-технологическая база.

Прокомментируем первые две особенности. Дойное стадо в Беларуси сконцентрировано на крупных промышленных молочно-товарных фермах (более 300 коров), при том, что в Польше имеет место относительно мелкотоварное производство (в среднем менее 40 коров на ферме), что объяснимо с точки зрения формы собственности объектов производства (Таблица 3).

Таблица 3.
Характеристика дойного стада в Польше и Беларуси (Беларусь и страны мира, 2015; Ocena i hodowla bydła mlecznego, 2014-2015)

Країна	Количество молочных ферм			Количество коров		Доминирующие породы молочных коров
	Всего (тыс)	общественный сектор (%)	частный сектор (%)	Всего (млн)	На 1 ферме (голов)	
Польша	60,5	<5	>95	2,3	38	Гольштино-фризская (польская) – 85%
Беларусь	4,3	>95	<5	1,5	310	Гольштино-фризская (Белгольштин) – 50% Белорусская черно-пестрая – 50%

Что касается нормативно-технологической базы, в настоящее время в Польше действует общий свод законодательных актов Европейского Союза (acquis communautaire), касающихся производства и переработки молока. В Республике Беларусь

действует Технологический регламент, единый для стран Таможенного союза – ТР ТС 033/2013. Вместе с тем, продажи белорусской молочной продукции в странах ЕС возможны только при соответствии её на всех этапах производства директивам *acquis communautaire*. В вопросе технологической гармонизации стандартов представляется важным взаимодействие научно-исследовательских и проектно-технологических организаций Польши и Беларуси.

Отметим, что приведенные отличительные особенности не могут противоречить научно-техническому сотрудничеству и коммерческому взаимодействию сторон, но могут быть использованы в качестве «подсказки» для совершенствования конкретного молочно-товарного производства. Приведем два примера.

Известно, что крупные молочные фермы позволяют иметь преимущество в виде снижения основных видов удельных затрат. Кроме того, на крупных фермах проще реализовать технические решения, связанные с комплексной механизацией и автоматизацией процессов. В этом плане может быть полезен белорусский опыт разработки Системы машин для технологического оснащения крупных молочных ферм (более 400 коров) (Kitikov, 2011). В то же время в Польше выработаны проекты молочно-товарных производств (как правило, менее 100 коров), в которых эффективно увязаны вопросы получения и переработки высококачественного молочного сырья, а также вопросы экологической безопасности (Praca zbiorowa, 2005; Ocena i hodowla bydła mlecznego, 2014-2015). Поэтому представляет взаимный интерес изучение масштабного фактора при производстве молока для различных целей (сыр, масло, сухое молоко и прочее).

Также известно, что порода является базовым условием высоких удоев, и, следовательно, рентабельности производства молока. В настоящее время и в белорусской, и в польской селекции крупного рогатого скота идут процессы «голландизации» дойного стада (Таблица 3). Однако в Польше этот процесс начался на 10 лет раньше, и полученный опыт, без сомнения, интересен для Беларуси. Одновременно с этим в Беларуси накоплен большой опыт увеличения генетического потенциала региональных пород, в частности, чёрно-пёстрой.

Таким образом, Польша и Беларусь, при некоторых отличительных особенностях, имеют схожие природно-производственные условия и экспортные возможности для молочной отрасли, а также схожие научно-технические задачи, связанные с повышением конкурентоспособности молока. Анализ показал, что решение этих задач находится в области снижения удельных затрат, то есть в области инновационной модернизации производства молока. При этом возможно тесное взаимовыгодное научно-техническое сотрудничество двух стран.

Одной из главных научно-технических задач в настоящее время является совершенствование процесса машинного доения. Жёсткий режим работы доильного оборудования часто приводит к травмированию животных. Следствием этого является снижение молочной продуктивности и, что самое главное – высокая заболеваемость коров маститом (иногда до 30% стада). Специалисты всего мира, в том числе Польши и Беларуси, отмечают, что коровы переболевшие маститом, обладают пониженным иммунитетом, что негативно отражается на их молочной продуктивности и качестве молока (Blowey, 2010; Zecconi, 2010; Mein, 2012; Винницки, 2004; Трофимов, 2003). Так как уровень удельных затрат в значительной степени определяется молочной продуктивностью коров (количество и качество

молочного сырья), и так как только в процессе машинного доения реализуется непосредственный контакт вымени с рабочими органами доильного аппарата, несовершенство этого процесса сводит на нет усилия коллектива всей фермы. В связи с этим, 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 (травмируют коров), то генетический потенциал, кормление и условия преддоильного содержания животных не имеют решающего значения.

Анализ тенденций развития мирового молочного животноводства, позволяет сделать вывод: 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, конечная цель которой – перевод молочной отрасли на более низкий уровень удельных затрат.

Инновационная модернизация процесса машинного доения должна реализоваться за счёт привнесения в него новейших научных знаний, выработанных в смежных науках, в частности, в молекулярной биологии и генетике о гормональной природе молоковыведения, а также за счёт учёта физиологического состояния и индивидуальных особенностей животных. Сформулируем известные научные положения 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 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.

Первая научно-техническая задача, которую необходимо решить для инновационной модернизации процесса машинного доения – устранить все причины, которые вызывают стресс у животных (появление в крови гормона адреналина, см. п.2), то есть обеспечить бесстрессовость процесса. В результате анализа работы доильного оборудования установлены три причины стресса, непосредственно связанных с процессом машинного доения: низкая стабильность давления в рабочем вакуумном контуре, вызывающая гидродинамическое травмирование вымени; жёсткий травмирующий контакт сосковой резины с выменем животных;

неоптимальные режимы машинного доения. В работах (Китиков, 2015; Китиков, 2013; Kitikov, 2011) разработан новый рабочий вакуумный контур, существенно повышающий стабильность давления разрежения, обоснован верхний предел давления в контуре, обоснована геометрия сосковой резины и установлены оптимальные режимы машинного доения исходя из выбора эффективной скорости молоковыведения.

Второе необходимое условие, которое следует реализовать в процессе машинного доения – синхронизация времени машинного доения и времени нахождения гормона окситоцина в крови животного (см. п.1). В работе (Китиков, 2015) это условие названо комфортностью машинного доения для животного; оно выражается следующим образом:

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

где:

- $t_{\text{д}}$ – время машинного доения,
- $t_{\text{окс}}$ – время нахождения окситоцина в крови коров.

Третье условие, которое является достаточным – это полнота альвеолярного выдаивания (пп. 3-4). В работе (Китиков, 2015) 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), ($\text{кг} \cdot \text{мин}^{-1}$)
- $V_{\text{ал}}$ – скорость перехода молока из альвеол в цистерну вымени под действием гормона, ($\text{кг} \cdot \text{мин}^{-1}$).

Работы (Ocena i hodowla bydła mlecznego, 2014-2015; Китиков, 2015; Леонов, 2014; Китиков, 2013) позволили сформулировать новый подход: 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.

Каким же образом может быть на практике реализован физиологически-щадящий процесс машинного доения, учитывая его противоречивый характер? Он может и должен быть реализован на основе многокритериальной оптимизации процесса. Параметры оптимизации, которые всесторонне характеризуют процесс как с точки зрения здоровья животных, так и молочной продуктивности: параметр

Y_1 – электропроводимость молока ($\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$), характеризует качество молока (жирность, количество соматических клеток) и здоровье животных (в состоянии даже субклинического мастита); параметр Y_2 – скорость молокоотдачи ($\text{кг}\cdot\text{мин}^{-1}$), позволяет синхронизировать время машинного доения с временем активного действия гормона окситоцина в организме животного; Y_3 – удой молока ($\text{кг}/\text{гол}/\text{сут}$), характеризует продуктивность животных (Леонов, 2014).

В результате многокритериальной оптимизации процесса машинного доения, в которой в качестве целевой функции принято условие, определяющее высокое качество молока и здоровье коров $Y_1 \rightarrow \min$ (бесстрессовость), с функциональными ограничениями на параметр Y_2 (комфортность процесса – доение во время действия гормона окситоцина; параметры Y_2 и Y_3 определяются в зависимости от физиологического состояния животных) и на Y_3 (полнота альвеолярного выдаивания), получен оптимальный комплекс факторов: $x_1 = 43\text{-}45$ кПа, $x_2 = 46\text{-}52$ с, $x_3 = 8\text{-}12^\circ\text{C}$, обеспечивающий физиологически-щадящий режим машинного доения, что позволило повысить удойность с 4,7 до 5,7 ($\text{т}\cdot\text{гол}^{-1}$)- год^{-1} , жирность молока с 3,6 до 4,1%, долю молока «экстра» с 30 до 55%, период продуктивного долголетия с 3,0 до 4,8 лактаций, снизить уровень мастита с 18 до 8%, тем самым создать предпосылки для реализации генетического потенциала коров (Китиков, 2015).

Принцип многокритериальной оптимизации позволяет осуществлять подстройку доильного оборудования под физиологические особенности животного, что, безусловно, актуально и для других технологических процессов кормления и содержания коров.

Выводы

1. Польша и Беларусь занимают соответственно 16-е и 21-е место в мире по темпам роста производства молока и входят в группу стран-экспортеров молочной продукции, что позволяет странам принять участие в решении важной экономической и гуманитарной проблемы – увеличении объемов производства молочной продукции.
2. Учитывая благоприятные природно-климатические условия (гидротермический коэффициент территорий $k_T = 1,4\text{-}1,5$), высокий промышленный и научно-технический потенциал, а также мировой дефицит молочных продуктов, можно утверждать, что молочное животноводство и в Польше, и в Беларуси в перспективе должно быть приоритетным направлением развития сельского хозяйства.
3. Несмотря на высокие количественные показатели производства молока (10,6 млн. $\text{т}\cdot\text{год}^{-1}$ молока в Польше и 6,7 млн. $\text{т}\cdot\text{год}^{-1}$ в Беларуси), удельный объем молока, получаемого с площади сельхозугодий в Польше и Беларуси, составляет 80 и 78 $\text{т}\cdot 100^{-1}$ га соответственно, что в 2 раза ниже, чем в Германии, хотя значение гидротермического коэффициента для наших территорий предпочтительнее.
4. Таким образом, Польша и Беларусь, при некоторых отличительных особенностях, имеют схожие природно-производственные условия и экспортные возможности для молочной отрасли, а также схожие научно-технические задачи, связанные, в

первую очередь, со снижением уровня удельных затрат и с дальнейшим повышением конкурентоспособности молока.

5. В настоящее время важнейшим условием для перевода молочного животноводства на новый качественный уровень является инновационное усовершенствование процессов производства молока за счет привлечения новейших научных знаний из физиологии, молекулярной биологии и генетики для разработки технологического оборудования, способного подстраиваться под потребности животного, что в итоге позволит существенно снизить уровень удельных затрат и реализовать генетический потенциал породы молочного скота.

Литература

- Беларусь и страны мира: сб. статистич. инф. (2015). *М-во статист. и анализа*. Минск, 271.
- Blowey, R. (2010). *Milking machines and mastitis*. R. Blowey, P. Edmondson. Mastitis control in dairy herds (ed. 2. – Wallingford): CABI, 60-94.
- Food Outlook: Glob. Market Analysis (2015). FAO Statistical Yearbook. 121.
- Китиков, В.О. (2015). *Научные основы создания технологического оборудования и физиологически-щадящего процесса машинного доения коров*: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.01. В.О. Китиков; БГАТУ, Минск, 60.
- Китиков, В.О. (2013). Стратегическое направление развития машинного доения коров. В.О. Китиков, А.Н. Леонов, Вес. Нац. акад. наук Беларуси. *Сер. аграрн. наук. № 4*. 91-104.
- Kitikov, V.O. (2011). *Technical facilities of intensive milk production*. Industrial Inst. of agriculture Engineering, Poznań, 160.
- Леонов, А.Н. (2014). Оптимизация процесса машинного доения. А.Н. Леонов, В.О. Китиков. Вес. Нац. акад. наук Беларуси. *Сер. аграрн. наук. № 1*, 93-100.
- Mein, G.A. (2012). The role of the milking machine in mastitis control. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice; New York: Elsevier Inc.* 28(2). 307-320.
- Ocena i hodowla bydła mlecznego*. Polska Federacja hodowców bydła i producentów mleka. Dane za 2014-2015r.
- Praca zbiorowa. (2005). *Rolnictwo i gospodarka żywnościowa w Polsce*. Ministerstwo rolnictwa i rozwoju wsi. Warszawa. 80.
- Трофимов, А.Ф. (2003). *Современные технологии производства молока*. А.Ф. Трофимов, В.Н. Тимошенко, А.А. Музыка. Белорусское сельское хозяйство. № 3. 4-6.
- Винницки, С. (2004). *Достижения в технике для доения коров на средних и больших фермах*. С. Винницки, Л. Навроцки, А. Мычко, К. Дембовски. Науч.-технич. прогресс в животноводстве: сб. науч. тр. ВНИИМЖ. Подольск. Т. 13. 164-173.
- Zecconi A. (2010). *Surveillance of mastitis aggravated by milking machines*. Point Vétérinaire; Maisons-Alfort: Éditions du Point Vétérinaire. 41. 61-62.
- <http://www.milknews.ru>
- <http://www.agroatlas.ru>

WPLYW UWARUNKOWAŃ CZYNNIKÓW PRZYRODNICZYCH I PRODUKCYJNYCH NA MLEKO

Streszczenie. Przeprowadzono analizę porównawczą produkcji mleka w Polsce i na Białorusi. Przeanalizowano podstawowe tendencje nowoczesnego rozwoju przemysłu mleczarskiego i zaproponowano nowoczesne kierunki innowacyjnej modernizacji procesów produkcji mleka. Na podstawie analizy trendów w światowej produkcji mleka i nowych założeń naukowych dotyczących biosyntezy mleka, opracowano innowacyjne podejście w projektowaniu maszyn w produkcji mleka, uwzględniając parametry techniczne i fizjologiczne.

Słowa kluczowe: produkcja mleka, proces technologiczny, maszyny mleczarskie, koszty jednostkowe