



Александр ГОРБАТОВСКИЙ¹,

Оксана ГОРБАТОВСКАЯ¹,

Марина ТИМОШЕНКО²

¹*Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь
e-mail: hahomova@mail.ru*

²*Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по животноводству,
Жодино, Республика Беларусь
e-mail: otdel@tut.by*

УДК 637.1.02:636.2.034:330.342.23
<https://doi.org/10.29235/1818-9806-2022-03-74-82>

Биоэнергетическая эффективность объемно-планировочных и технологических решений в молочном скотоводстве: оценка вариантов, перспективные модели

Приведена биоэнергетическая оценка наиболее распространенных вариантов сочетания объемно-планировочных и технологических решений, применяемых в настоящее время при производстве молока в сельскохозяйственных организациях республики. Такой анализ позволяет более объективно подойти к выбору оптимального с точки зрения энергосберегающего направления варианта строительства новых и модернизации имеющихся молочно-товарных комплексов в условиях ограниченности источников энергетических ресурсов, с одной стороны, и необходимостью наращивания объемов производства продукции для обеспечения продовольственной безопасности населения и увеличения экспортного потенциала – с другой.

Ключевые слова: биоэнергетический анализ, энергоемкость, энергосодержание, коэффициент биоэнергетической эффективности.

Alexander GORBATOVSKIJ¹,

Oksana GORBATOVSKAYA¹,

Marina TIMOSHENKO²

¹*Institute of System Researches in the Agroindustrial Complex
of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: hahomova@mail.ru*

²*Scientific and Practical Center of the National Academy
of Sciences of Belarus on Animal Husbandry,
Zhodino, Republic of Belarus
e-mail: otdel@tut.by*

© Горбатовский А., Горбатовская О., Тимошенко М., 2022

Bioenergy efficiency of space-planning and technological solutions in dairy farming: assessment of options, promising models

The article provides a bioenergy assessment of the most common options for combining space-planning and technological solutions currently used in milk production in agricultural organizations of the republic, which allows a more objective approach to the choice of the optimal, from the point of view of energy-saving direction, option for the construction of new and modernization of existing dairy commodity complexes, in conditions of limited sources of energy resources, on the one hand, and the need to increase production volumes to ensure food security of the population and increase export potential, on the other hand.

Keywords: bioenergy analysis, energy intensity, energy content, bioenergy efficiency coefficient.

Введение

В настоящее время в республике динамично развивается молочное скотоводство. В широких масштабах создаются крупные фермы и комплексы по производству молока с применением современных интенсивных технологий. За период с 2005 по 2019 г. в стране построено 552 новых молочно-товарных комплекса, реконструировано и модернизировано 2317 ферм. В 2020 г. введено еще 45 объектов. При этом на практике используется большое количество инновационных технологических решений и схем комплексной механизации производственных процессов. На ближайшую пятилетку запланировано построить 64 молочно-товарные фермы и реконструировать 40, выйти на ежегодные объемы производства молока в пределах 9,2 млн т [1].

В текущих условиях хозяйствования при различном уровне интенсификации традиционно применяемые экономические показатели не всегда могут отражать реальную эффективность производства продукции животноводства в полной мере. Для объективного анализа объемно-планировочных и конструктивных технологических решений целесообразно провести энергетическую оценку производства животноводческой продукции, которая показывает отношение аккумулированной энергии в продукции к затраченной на получение последней. По мнению М. А. Степанова, данный подход позволяет установить уровень энергозатрат и их окупаемость в реальных экономических условиях. Таким образом, энергетическая оценка может выступать определяющим фактором как в системе прогнозирования эффективности перспективных производственно-технологических моделей, так и при оперативном анализе работы молочно-товарных ферм и комплексов [2].

Материалы и методы

Теоретико-методологической основой послужили труды ученых по вопросам биоэнергетической оценки технологий производства молока. Для исследования были собраны производственные и статистические материалы, изучены альбомы проектной документации типовых животноводческих объектов. Работа

выполнена на примере сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь разных форм собственности путем натуральных обследований животноводческих объектов по производству молока с различными объемно-планировочными и конструктивными технологическими решениями.

Основная часть

Одним из критериев, позволяющим достоверно определить затраты на производство 1 т молока, является энергоемкость. Этот показатель наиболее объективен, не подвержен влиянию конъюнктуры рынка и характеризует уровень развития технологии в определенный период [2].

Биоэнергетические показатели дают возможность оценить расход совокупной энергии на единицу производимой продукции, наиболее полно отражают затраты живого и овеществленного труда в энергетически выраженном эквиваленте [2, 3].

В современном животноводстве, базирующемся на применении интенсивных промышленных технологий поточного принципа выполнения производственных процессов в помещениях с регулируемыми параметрами, нет выраженной сезонности получения продукции. Поэтому отрасль признается одним из основных потребителей энергии в сельском хозяйстве. Доля животноводства составляет до 17–21% общего энергопотребления при производстве сельскохозяйственной продукции. В свою очередь, для содержания крупного рогатого скота фермы используют более 50% энергии, которая затрачивается на животноводство. Как показали исследования Н. П. Мишурова, расход энергоресурсов в молочном скотоводстве зависит от множества изменяющихся факторов и их разнообразного сочетания (способа содержания скота, продуктивности животных, уровня механизации и автоматизации процессов на ферме и др.) [4].

В связи с этим актуальна комплексная оценка биоэнергетической эффективности процесса производства молока, которая позволит установить объемы потребляемой энергии на получение основной, дополнительной и побочной продукции в зависимости от конкретных сочетаний наиболее распространенных объемно-планировочных и технологических решений, применяемых в Республике Беларусь.

Как отмечают в своих исследованиях Ф. Сibaгатулин, Г. Шарафутдинов, Р. Шарафутдинов, А. Москвичева, энергетическая оценка технологии получения продукции животноводства проводится по показателям, характеризующим объект, технологию, технологический процесс и конечный продукт. К таким критериям относятся:

- совокупный годовой расход энергии при производстве продукции;
- технологическая энергоемкость;
- выход энергии (полезное энергосодержание);
- энергетический коэффициент эффективности технологии, который определяется по энергетическому выходу конечного продукта [5].

В расчетах биоэнергетической эффективности были использованы методические подходы и материалы [2, 6], адаптированные для оценки наиболее распространенных вариантов сочетания объемно-планировочных и технологических решений производства молока.

Полную энергоемкость (совокупные затраты энергии) на получение молока определяли как сумму прямых и косвенных затрат (эксплуатационные), а также переносимых на продукцию живым трудом, основными фондами и др. (овеществленные затраты) по формуле

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_{\text{эк}} + \mathcal{E}_{\text{ин}} + \mathcal{E}_{\text{ж.т}},$$

где \mathcal{E}_e – совокупные затраты энергии, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{эк}}$ – эксплуатационные энергозатраты, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{ин}}$ – инвестиционные энергозатраты, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{ж.т}}$ – энергозатраты живого труда, ГДж.

Энергосодержание основной и дополнительной продукции при производстве молока вычисляли следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{с.о.п}} = \mathcal{E}_{\text{в.ж}} + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_{\text{пр}} + \mathcal{E}_{\text{пл}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{с.о.п}}$ – суммарное содержание энергии в основной и дополнительной продукции, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{в.ж}}$ – энергосодержание живой массы выбракованных животных, ГДж; \mathcal{E}_m – энергосодержание молока, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ – энергосодержание прироста молодняка, МДж; $\mathcal{E}_{\text{пл}}$ – энергосодержание приплода, ГДж.

Энергосодержание всей продукции (основной, дополнительной и побочной), получаемой в молочном скотоводстве, определяли по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{с.в.п}} = \mathcal{E}_{\text{с.о.п}} + \mathcal{E}_{\text{с.п.п}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{с.в.п}}$ – энергосодержание всей продукции, ГДж; $\mathcal{E}_{\text{с.п.п}}$ – энергосодержание побочной продукции (экскременты с подстилочным материалом), ГДж.

Коэффициенты биоэнергетической эффективности наиболее распространенных вариантов сочетания объемно-планировочных и технологических решений производства молока рассчитывали по формулам:

$$K_{\text{с.о.п}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{с.о.п}}}{\mathcal{E}_e} 100\%;$$

$$K_{\text{с.в.п}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{с.о.п}} + \mathcal{E}_{\text{с.в.п}}}{\mathcal{E}_e} 100\%;$$

где $K_{\text{с.о.п}}$ – коэффициент биоэнергетической эффективности основной и дополнительной продукции, %; $K_{\text{с.в.п}}$ – коэффициент биоэнергетической эффективности всей продукции (основной, дополнительной и побочной), %.

Изложенная методика принята нами как приемлемая с точки зрения соизмеримой погрешности оценочных критериев эффективности применительно к про-

мышленным технологиям производства и различным типоразмерам молочно-товарных ферм (по мощности обслуживаемого поголовья основного стада), а также в рамках рассмотрения главного направления скотоводства – производства товарного молока в условиях полного технологического цикла. Результаты расчетов на базе этого подхода относительно сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь приведены в табл. 1.

**Т а б л и ц а 1. Варианты сочетания наиболее распространенных
объемно-планировочных решений с беспривязно-боксовым способом
содержания животных при производстве молока**

Показатель	Каркас из железобетона, полурамный			Каркас из металлоконструкций			Каркас из железобетона с 3-слойным утеплением (сэндвич-панели)		
	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3		
	На 1 голову	На 1 т молока	Структура совокупных энергозатрат, %	На 1 голову	На 1 т молока	Структура совокупных энергозатрат, %	На 1 голову	На 1 т молока	Структура совокупных энергозатрат, %
Эксплуатационные затраты энергии, ГДж:	83,2	11,00	47,67	84,7	10,64	49,37	90,1	12,17	50,78
прямые:	4,3	0,57	2,47	2,8	0,35	1,64	3,5	0,47	1,95
электроэнергия	1,4	0,19	0,83	1,2	0,15	0,72	1,5	0,20	0,83
жидкое топливо	2,9	0,38	1,64	1,6	0,20	0,92	2,0	0,27	1,12
косвенные:	78,9	10,43	45,20	81,9	10,29	47,73	86,6	11,70	48,83
корма	70,8	9,36	40,55	69,8	8,78	40,68	74,7	10,09	42,12
подстилка	7,8	1,03	4,47	11,7	1,46	6,81	11,4	1,55	6,45
вода	0,1	0,01	0,05	0,1	0,01	0,06	0,1	0,01	0,05
лекарственные и дезинфицирующие средства	0,2	0,03	0,13	0,3	0,04	0,18	0,4	0,05	0,21
Инвестиционные затраты энергии, ГДж:	84,2	11,12	48,23	81,7	10,28	47,62	82,6	11,17	46,56
энергоёмкость энергоносителей	5,5	0,72	3,14	4,5	0,56	2,60	5,4	0,73	3,05
энергия, переносимая машинами и оборудованием	5,9	0,79	3,42	4,4	0,56	2,58	3,4	0,46	1,91
энергия, переносимая зданиями и сооружениями	2,4	0,31	1,36	2,4	0,30	1,38	3,4	0,46	1,91
энергия, идущая на воспроизводство стада	70,4	9,30	40,31	70,4	8,86	41,06	70,4	9,52	39,69
Энергозатраты, переносимые живым трудом на производство молока, ГДж	7,2	0,95	4,10	5,2	0,65	3,01	2,7	0,64	2,66
Совокупные удельные энергозатраты, ГДж	174,6	23,07	100,00	171,6	21,57	100,00	175,4	23,98	100,00

Примечание. Составлена авторами по результатам собственных расчетов с использованием [6].

Таким образом, основываясь на методических подходах, предложенных Н. П. Мишуриным [7], выполненный нами анализ состава затрат энергии на производство молока в разрезе статей и укрупненных блоков (эксплуатационные, инвестиционные и переносимые живым трудом) показал, что практически по всем видам энергозатрат в расчете на 1 т молока в варианте 2 сочетания объемно-планировочного решения и способа содержания животных основного молочного стада наблюдается наиболее низкий уровень затрат энергии по сравнению с вариантами 1 и 3 соответственно: электроэнергии – на 21,1 и 25,0%; энергии жидкого топлива – на 47,4 и 25,9%; энергии, переносимой зданиями и сооружениями, – на 3,2 и 34,8%; энергии, содержащейся и овеществленной в кормах, – на 6,2 и 13%. Только по затратам энергии, овеществленной в подстилочном материале, значения варианта 2 на 41,7% выше данного показателя в сравнении с вариантом 1.

Анализ структуры затрат энергии на производство молока показал, что наибольший удельный вес занимают энергия, переносимая на конечный продукт кормами (40,55–42,12%), идущая на воспроизводство стада (39,69–41,06%), и энергоносители (2,60–3,14%).

Доля других видов энергозатрат гораздо меньше и находится в следующих пределах:

жидкое топливо – 0,92–1,64%;

энергия, переносимая машинами и оборудованием, – 1,91–3,42%, зданиями и сооружениями – 1,36–1,91%, подстилкой – 4,47–6,81%;

энергия живого труда – 2,66–4,10%.

Таким образом, анализ позволяет сделать вывод о том, что перспективными направлениями снижения затрат энергии являются в первую очередь показатели, связанные с воспроизводством стада, получением кормов и эффективным использованием энергоносителей и подстилочных материалов.

Результаты биоэнергетической оценки технологий производства молока в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь представлены в табл. 2.

Анализ и сопоставление показателей биоэнергетической оценки технологии производства молока позволили сделать заключение о предпочтительности (по всем параметрам) технологии беспривязно-боксового способа содержания животных в каркасном здании коровника, выполненном из металлоконструкций. Коэффициент биоэнергетической эффективности полученной продукции в варианте 2 сочетания объемно-планировочного решения и способа содержания животных основного молочного стада составил 58,60%, что на 8,23 и 3,35 п.п. выше, чем в вариантах 1 и 3 соответственно. Удельная энергоемкость производства молока данным способом была на уровне 21,57 ГДж.

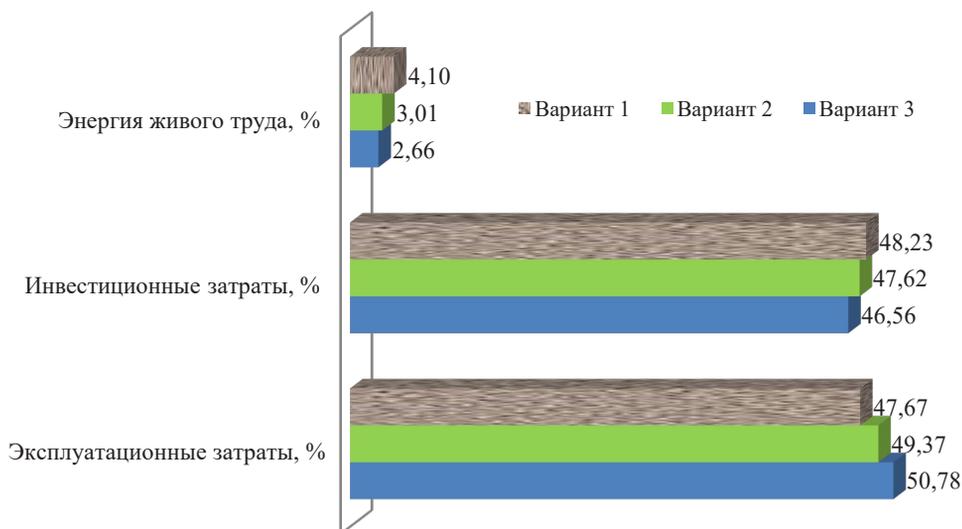
Таким образом, с биоэнергетической точки зрения вариант сочетания технологии беспривязно-боксового способа содержания животных в каркасном здании коровника, выполненном из металлоконструкций, на единицу затраченной совокупной энергии обеспечивает наибольший выход энергии в продукции.

Т а б л и ц а 2. Биоэнергетическая оценка производства молока для наиболее распространенных вариантов объемно-планировочных решений с беспривязно-боксовым способом содержания животных

Показатель	Каркас из железобетона, полурамный	Каркас из металлоконструкций	Каркас из железобетона с 3-слойным утеплением (сэндвич-панели)
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Удельная энергоемкость на 1 т молока, ГДж	23,07	21,57	23,98
Удельное энергосодержание единицы основной и дополнительной продукции, ГДж	3,35	3,33	3,35
Удельное энергосодержание единицы полученной продукции (основной, дополнительной и побочной), ГДж	11,62	12,64	13,25
Коэффициент биоэнергетической эффективности основной и дополнительной продукции, %	14,52	15,44	13,97
Коэффициент биоэнергетической эффективности всей продукции, %	50,37	58,60	55,25

П р и м е ч а н и е. Составлена авторами по результатам собственных расчетов с использованием [6].

В современных условиях удельные затраты живого труда в структуре израсходованной энергии (см. рисунок) характеризуются невысокими значениями по причине использования промышленных технологий, интенсивного способа производства. Вместе с тем существует проблема сокращения численности работающих на фермах. Вопрос не решается притоком новой рабочей силы.



Структура энергетических затрат на производство 1 ц молока при различных вариантах сочетания объемно-планировочного решения и способа содержания животных основного молочного стада (выполнен авторами по результатам собственных исследований)

Как видно из рисунка, наименьшие энергозатраты живого труда, переносимые на производство молока, достигаются в третьей комбинации сочетаний (на 32,6% меньше, чем показатель в варианте 1). Такая экономия возможна за счет оптимизации удельной трудоемкости при выполнении технологических процессов кормления, доения животных и уборки навоза. Однако удельные затраты электроэнергии, жидкого топлива, а также энергоемкость энергоносителей в данном сравнении, как правило, складываются в пользу варианта 1, так как подвоз и подача кормов, уборка навоза производятся мобильными машинами и оборудовани­ем с электроприводом. В результате выигрыш в затратах живого труда, полученный за счет снижения трудоемкости содержания животных, обеспечивается при третьей комбинации сочетаний (коэффициент биоэнергетической эффективности произведенной продукции – 55,25% (второй по эффективности биоэнергетической оценки в исследуемых вариантах)).

Выводы

В ходе исследования была выявлена степень воздействия объемных архитектурно-планировочных и технологических решений молочно-товарных ферм и комплексов различных типоразмеров на эффективность производственного процесса, продуктивность животных и величину удельных энергетических и трудовых затрат.

В современных условиях хозяйствования оценка комплексов по производству молока с полным технологическим циклом показала, что на единицу затраченной совокупной энергии наибольший выход энергии в продукции был достигнут при сочетании беспривязно-боксового способа содержания животных с каркасной конструкцией зданий коровника, выполненной из металлических несущих элементов. Коэффициент биоэнергетической эффективности полученной продукции составил 58,60%, а удельная энергоемкость производства молока данным способом в среднем ниже на 6,3–6,5 п.п. по сравнению с другими исследованными вариантами объемно-планировочных и технологических решений.

Детальное рассмотрение составляющих структуры энергопотребления при производстве молока в различных сочетаниях объемно-планировочных и технологических решений позволило определить приоритетность основных направлений и стратегий сбережения энергоресурсов, способных обеспечить существенное снижение потребляемых ресурсов при выполнении конкретных процессов и операций. Считаем целесообразным также рекомендовать в качестве перспективной хозяйственной модели производство молока с соблюдением полного технологического цикла при комбинировании беспривязно-боксового способа содержания животных с использованием каркасных конструкций зданий коровника из металлических несущих элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В Беларуси в новой пятилетке планируют построить 64 молочно-товарные фермы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edinstvo.by/2020/11/13/v-belarusi-v-novoj-pyatiletke-planiruyut-postroit-64-molochno-tovarnye-fermy>. – Дата доступа: 12.01.2021.
2. Степанов, М. А. Биоэнергетическая оценка технологий производства молока / М. А. Степанов // Технологии и технические средства механизир. производства продукции растениеводства и животноводства. – 2000. – № 71. – С. 109–116.
3. Кравчук, В. И. Биоэнергетическая оценка технологии производства молока / В. И. Кравчук, М. М. Луценко // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. – 2014. – Т. 3. – С. 44–50.
4. Мишууров, Н. П. Методологические основы энергетической оценки производства молока / Н. П. Мишууров // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 5. – С. 16–19.
5. Биоэнергетическая оценка и основные пути снижения энергоёмкости производства продукции животноводства / Ф. Сибатуллин [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2013. – Т. 216. – С. 295–302.
6. Мишууров, Н. П. Бионергетическая оценка и основные направления снижения энергоёмкости производства молока / Н. П. Мишууров. – М.: Росинформагротех, 2010. – 152 с.
7. Мишууров, Н. П. Анализ перспективных направлений снижения энергоёмкости производства молока / Н. П. Мишууров // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – 2006. – Т. 3. – С. 62–68.

Поступила в редакцию 19.01.2022

Сведения об авторах

Горбатовский Александр Викторович – заведующий сектором экономики отраслей;

Горбатовская Оксана Николаевна – ведущий научный сотрудник сектора экономики отраслей, кандидат экономических наук, доцент;

Тимошенко Марина Владимировна – ведущий научный сотрудник лаборатории разработки интенсивных технологий производства молока и говядины, кандидат экономических наук

Information about the authors

Gorbatovskij Alexander Viktorovich – Head of the Sector of Industries Economics;

Gorbatovskaya Oksana Nikolaevna – Leading Researcher of the Sector of Industries Economics, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;

Timoshenko Marina Vladimirovna – Leading Researcher of the Laboratory of Milk and Beef Production Intensive Technologies Development, Candidate of Economic Sciences