

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПИТАТЕЛЬНОСТИ КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМОВ

А. Я. РАЙХМАН

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горьки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 29.01.2019)

Составлены оптимальные рационы на основании содержания в кормах обменной энергии. Обменная энергия вычислялась разными методами, используемыми в производстве. При этом структура рационов существенно различалась. Определено количественно изменение доли дорогостоящих концентрированных кормов при расчете разными методами. Разница в структуре рационов может составлять до 20% по энергетическому показателю, что, безусловно, влияет на расход кормов и продуктивность.

Ключевые слова: лактирующие коровы, оптимизация рационов, обменная энергия.

The optimum diets on the basis metabolism energy was made. It was calculated by different methods used in manufacture. Thus the structure of diets essentially differed. The change of a share of the expensive concentrated cows is determined quantitatively at account by different methods. The difference in structure of diets can make up to 20 % on a power parameter, that, certainly, influences the charge of forages and efficiency.

Key words: lacting cows, optimization of diets, metabolite energy.

Введение. Решающий фактор в реализации технологии производства продукции животноводства – наличие кормов высокого качества. По сумме затрат, корма могут занимать более 55 % в структуре производства молока. Для минимизации затрат на кормовые средства необходимо уметь правильно определить их питательные достоинства, основным из которых является содержание полезной энергии, и составить полноценный рацион.

В Республике Беларусь традиционно основным кормом в рационах молочного скота является силос из кукурузы и сенаж из многолетних трав. Эти корма являются основой рационов, и их доля достигает 45–80 % по энергетической питательности. При нарушении технологии заготовки концентрация энергии в них падает, что обуславливает необходимость добавления зерновых концентратов с высоким содержанием крахмала. Но не только стоимость рационов снижает экономическую эффективность производства молока. Не менее значимым фактором может оказаться сокращение сроков эксплуатации высокопродуктивных коров, что связано с заболеваниями пищеварительного тракта и преждевременным выбытием [5, 6, 8].

При совершенствовании наукоемких технологий все большее значение приобретает анализ информации, позволяющий выявить факторы, сдерживающие повышение эффективности производства, с целью разработки мероприятий по их устранению [1, 3, 12].

Для создания наиболее благоприятных условий содержания и кормления животных, необходимо учитывать реальные возможности технологий производства кормов и кормовой базы. Современная наука предлагает много разных методов оценки качества заготавливаемого сырья, среди которых все большее внимание уделяется так называемым косвенным методам. Некоторые параметры кормов определяются в результате лабораторных исследований, остальные – расчетными методами. Далеко не всегда можно заменить физиологические исследования расчетными методами, так как ошибка приводит к существенным отклонениям при планировании рационов. Поэтому разработка надежных практических приемов оценки качества кормов заслуживает особого внимания [2, 5, 8, 9, 13].

В арсенале науки имеются мощные средства анализа взаимосвязей факторов при заготовке кормов. Параметрический анализ корреляционно-регрессионных моделей позволяет обобщить закономерности, полученные в опытах на животных, и вскрыть причины, сдерживающие повышение эффективности производства. Параметрический метод можно отнести к наиболее объективным методам. Он основывается на количественном и качественном выражении исследуемых свойств, и установлении взаимосвязей между параметрами как внутри управляющей и управляемых подсистем, так и между ними. Сущностью этого метода является определение необходимой и достаточной совокупности показателей, характеризующих все исследуемые свойства системы и формирование зависимостей, характеризующих суммарный эффект от применения системы или ее элементов. Это дает возможность определить степень влияния параметров на результат и предсказать их изменение в реальном производстве [4, 9].

Мы использовали метод статического параметрического анализа в нашей работе. В основе его лежит корреляционно-регрессионная модель. Этот метод позволяет изучать изменение решающих производственных показателей в зависимости от влияющего фактора. Был выбран один из решающих факторов – концентрация обменной энергии в объемных кормах. В математическую модель включались управляющие параметры, такие как стоимость отдельных ингредиентов, концентрация энергии в кормах, содержание протеина и углеводов в кормах, и другие [8, 11, 12].

Основным результирующим показателем была принята стоимость рациона. При этом его физиологическая полноценность, по условию решения, не снижалась.

Цель исследований – рассчитать сравнительную экономическую эффективность рационов кормления, сбалансированных средствами математического моделирования, при условии расчета энергетических показателей разными методами, предлагаемыми ведущими научно-исследовательскими учреждениями стран СНГ и Европы.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: провести сравнительный анализ состава силосов в разные фазы вегетации; оценить разные методы расчета показателей обменной энергии и чистой энергии лактации; произвести параметрический анализ факторов влияющих на энергетическую питательность кормов и определить потенциальные возможности повышения ее при консервировании кормов из кукурузы; разработать метод параметрического анализа, определить его алгоритм и написать программу на VBA для использования совместно с пакетом электронных таблиц Excel; испытать новый инструмент анализа «Параметрический анализатор».

Мы также попытались определить значимость ошибки расчета и сделать прогноз потери экономической эффективности в зависимости от ее размера.

Материал и методика исследований. Базой для исследований выбрано ОАО «Новгородищенское», Исследования проводились в зимне-стойловый период 2012 года где на 1 января 2012 года, площадь пашни составляла 6328 га, сельскохозяйственных угодий 8237 га, общая площадь предприятия составляет 8999 га. С 2010 по 2012 год посевы кукурузы на силос здесь существенно увеличены (с 360 до 1205 га, т. е. почти пятая часть от всей площади сельскохозяйственных угодий). Начало закладки силосных траншей – вторая неделя августа. Это молочная спелость зерна. Последний урожай на силос убирали в сентябре, когда зерно практически достигло восковой спелости и содержание сухого вещества приблизилось к 30 %. Кукуруза на зерно выдерживалась до октября. Растения уже приобретали темную окраску листьев, а содержание сухого вещества достигало 38–43 % и более [10, 11, 12, 13, 14].

Данные о питательности зеленой массы и готовых силосов получены в областной лаборатории зоотехнического анализа кормов, куда регулярно сдавались образцы в процессе заготовки кормов и при открытии хранилищ для скармливания крупному рогатому скоту.

Для решения оптимизационных моделей рационов для стельных сухостойных и дойных коров мы использовали компьютерную программу «Конструктор рационов кормления», разработанную на кафедре кормления сельскохозяйственных животных БГСХА. Для выявления сдерживающих факторов и анализа возможностей совершенствования системы кормления мы использовали «Динамический параметрический анализатор», разработанный на кафедре кормления сельскохозяйственных животных БГСХА. Этот инструмент использовался для обоснования возможности снижения расхода концентратов и стоимости рациона в зависимости от питательности объемистых кормов в сторону улучшения, которая изменялась через заданный интервал [9].

Составлен оптимальный рацион кормления для лактирующих коров, который был подвергнут анализу на предмет возможностей его

улучшения за счет повышения качества объемистых кормов. Это принципиально новый инструмент анализа оптимизационных моделей рационов кормления. Подготовлен программный модуль в формате надстройки Excel. Он написан на языке высокого уровня VBA.

Основным методическим элементом является возможность реализации не только для моделей линейного программирования, но и для нелинейных моделей, и, самое главное, – для многоцелевых математических моделей, которые используются в программе «Конструктор рационов кормления», и наилучшим образом подходят для оптимизации рационов в условиях ограниченной кормовой базы. Инструмент может быть модернизирован в соответствии с потребностями пользователя. Исходный код является собственностью автора, а распространение программы осуществляется в формате скомпилированной надстройки Excel.

Результаты исследований. Основное различие в составе сравнимых силосов заключается в содержании сухого вещества. По мере созревания растений оно увеличивается от 21,6 % в фазе молочной зрелости зерна до 32,2 % в фазе восковой зрелости как показано в табл. 1. Различия в химическом составе сухого вещества не столь значительны. По мере созревания увеличивается содержание клетчатки с 23,4 % в фазе молочной спелости до 26,3 % – в восковой. Особенно заметно накопление клетчатки в последнюю фазу вегетации. В течение 2–3 недель этот показатель увеличился с 23,7 до 26,3 %, тогда как кукуруза молочной и молочно-восковой спелости по этому показателю практически не различалась. Принимая во внимание высокое разнообразие данных о питательности силосов, мы не претендуем на высокую точность результатов расчетов. Но в целом закономерность прослеживается достаточно определенно. В начале октября кукуруза заметно изменила окраску. Листья потемнели и стали жесткими. Формирование початков завершилось. Влажность снизилась до 45–60 %. В такой стадии роста растений практически невозможно произвести трамбовку даже при измельчении 4–6 мм. Повышается содержание клетчатки и крахмала, а количество сахара и протеина снижается. Отличительной особенностью можно считать преобразование крахмала зерна кукурузы. Соотношение амилозы и амилопектина смещается в сторону последнего и, таким образом, возрастает количество «стабильного» крахмала. Эта фракция имеет большое значение в кормлении высокопродуктивных коров, так как значительно хуже расщепляется в рубце микроорганизмами. Она продвигается в сычуг, где подвергается воздействию фермента амилазы с дальнейшим распадом до глюкозы и всасыванием в тонком отделе кишечника. Поэтому большая часть посевов кукурузы должна выращиваться на зерно с максимально поздними сроками уборки (табл.1).

Таблица 1. Химический состав силосов

Показатель	Фаза вегетации растения (спелость зерна)		
	молочная	молочно-восковая	восковая
Сухое вещество, %	22,6	25,0	29,5
В сухом веществе, %			
Органическое вещество	93,4	93,4	93,7
Сырой протеин	8,5	7,5	7,4
Сырой жир	4,0	4,3	4,5
Сырая клетчатка	23,4	23,7	26,3
Безазотистые экстрактивные вещества	57,5	57,9	55,5

Из таблицы видно, что по фазам вегетации содержание протеина снижается с 8,5 до 7,4 %, а концентрация жира увеличивается незначительно с 4,0 до 4,5 % по отношению к сухому веществу. Основной компонент органического вещества – углеводы (крахмал). За счет формирования початков его количество в зеленой массе, а затем и в силосе возрастает. Но в расчете на единицу сухого вещества незначительно снижается с 57,5–57,9 % в фазе молочной спелости, до 55,5 % – в восковой спелости зерна [7, 10, 11]. Переваримость питательных веществ силосов представлена в табл. 2.

Таблица 2. Переваримость питательных веществ силосов, %

Показатель	Фаза вегетации растения (спелость зерна)		
	молочная	молочно-восковая	восковая
Сухое вещество	68,9 ± 0,92	71,2 ± 0,33	63,4 ± 1,25
Органическое вещество	70,0 ± 0,83	73,1 ± 0,32	65,1 ± 1,41
Сырой протеин	55,0 ± 0,55	51,6 ± 0,50	48,2 ± 1,52
Сырой жир	60,7 ± 0,75	61,2 ± 0,73	69,7 ± 0,62
Сырая клетчатка	58,1 ± 0,75	61,1 ± 1,00	53,8 ± 2,19
Безазотистые экстрактивные вещества	75,8 ± 0,37	79,6 ± 0,30	71,7 ± 1,31

Наилучшая перевариваемость большинства компонентов сухого вещества наблюдалась в фазу молочно-восковой спелости зерна, и только жиры перевариваются лучше при формировании зерна восковой спелости, тогда как перевариваемость протеина в эту фазу снижается. Расчет содержания валовой энергии проводился с учетом стандартных коэффициентов перевода весовых единиц в энергетические. Такая методика считается достаточно надежной и дает незначительное расхождение по сравнению с классическим методом определения в «калориметрической бомбе».

Далее представлены уравнения для расчета содержания количества обменной энергии в сухом веществе кукурузного силоса.

Основное регрессионное уравнение (1) разработано Всесоюзным институтом животноводства и представлено в известном справочнике «Нормы и рационы», изданном под редакцией академика А. П. Калашникова. Для расчета необходимы данные о переваримости кормов. Поскольку в практике животноводства получить эту инфор-

мацию опытным путем не представляется возможным, коэффициенты переваримости берут из справочников [2, 4, 5]:

$$\text{ОЭ} = 0,0175 \text{ пБ} + 0,0312 \text{ пЖ} + 0,0137 \text{ пК} + 0,0148 \text{ пБЭВ}. \quad (1)$$

Следующая методика (2) основана на разработках Генниберга и Штоммана. Она используется в странах Европы для прогнозирования содержания физиологически полезной энергии в кормах для крупного рогатого скота. Это уравнение является также первым этапом расчета чистой энергии лактации [2]:

$$\text{ОЭ} = 0,0312 \text{ пЖ} + 0,0136 \text{ пКл} + 0,0147 \text{ ОПОМ} + 0,00234 \text{ сП}. \quad (2)$$

Всесоюзным институтом животноводства для расчетов энергетической питательности в производстве предложено уравнение с учетом только двух групп сырых органических веществ – сырая клетчатка и сырой протеин (3). Точность такого расчета, естественно ниже, но не требуется информации о переваримости:

$$\text{ОЭ} = (53,53 - 0,015 \text{ сКл} + 0,093 \text{ сП}) \times 0,0086 \text{ ВЭ}. \quad (3)$$

Этим же институтом разработан четвертый вариант расчета, который на первый взгляд может показаться менее точным, так как основан на содержании не перевариваемых, а сырых питательных веществ [4]. Но такая информация может быть получена непосредственно из лаборатории зоотехнического анализа кормов без проведения опытов по переваримости.

$$\text{ОЭ} = 10,365 + 0,026 \text{ сП} + 0,275 \text{ сЖ} - 0,176 \text{ сКл} + 0,047 \text{ сБЭВ}. \quad (4)$$

Помимо предлагаемых выше зависимостей, существуют и другие, но нами не рассматривались упрощенные приблизительные методы определения концентрации в кормах обменной энергии такие как использование коэффициентов Аксельсона, гостированная методика БелНИИЖ и др. Они предназначены для быстрого приблизительного прогноза энергетической питательности кормов в производственных условиях, когда отсутствует информация о химическом составе сухого вещества.

Мы рассчитали энергетическую питательность силосов, заготовленных из кукурузы в разные фазы вегетации растений всеми перечисленными методами и сравнили результаты (табл. 3).

Таблица 3. Энергетическая питательность силосов, рассчитанная с использованием регрессионных уравнений, МДж

Фаза вегетации (спелость зерна)	Метод расчета							
	1		2		3		4	
	в СВ	в натуральном корме	в СВ	в натуральном корме	в СВ	в натуральном корме	в СВ	в натуральном корме
Молочная	9,89	2,24	9,81	2,22	9,18	2,07	9,42	2,13
Молочно-восковая	10,30	2,58	10,22	2,56	9,03	2,26	9,64	2,41
Восковая	10,54	3,11	10,46	3,09	9,03	2,66	4,46	1,32

Из таблицы видно, что разница в показателе КОЭ весьма существенна. Расчеты по сырым питательным веществам показывают наименьшее содержание ОЭ. Так, при сравнении с классическим методом, предложенным Генибергом и Штоманом (№1), она на 0,87 МДж ниже (9,89 и 9,42) для силоса в молочной стадии спелости зерна. В молочно-восковой спелости – на 0,66 МДж (10,30 и 9,64), а в восковой – результат получился и вовсе некорректный (4,46 МДж ОЭ/кг СВ).

Первые два метода (основанные на перевариваемых питательных веществах) практически не различались. Упрощенная методика (по протеину и клетчатке) не может быть применима в производстве. Она занижает показатель энергоемкости кормов почти на 1 МДж при расчете на сухое вещество и на 0,2–0,3 МДж – на натуральное вещество корма.

Параметрический анализ мы проводили методом простого табулирования в электронной таблице (здесь еще не использовали инструмент автоматического циклического решения). Рационы решались средствами оптимизатора «Конструктор рационов кормления». Было составлено 12 рационов на продуктивность 30 кг молока в сутки для живой массы 600 кг. Результаты анализа представлены в табл. 4.

Таблица 4. Оптимальное соотношение кормов в рационах коров при разных методах вычисления ОЭ в объемных кормах

Фаза	Молочная		Молочно-восковая		Восковая	
Корма	ОК	КК	ОК	КК	ОК	КК
ОЭ = 0,0175 пБ + 0,0312 пЖ + 0,0137 пК + 0,0148 пБЭВ						
% по весу	84,98	15,02	88,00	12,00	89,05	10,95
% по ОЭ	52,86	47,14	62,60	37,40	69,12	30,88
% по СВ	60,07	39,93	68,32	31,68	73,84	26,16
ОЭ = 0,0312 пЖ + 0,0136 пКл + 0,0147 ОПОМ + 0,00234 сП						
% по весу	84,15	15,85	87,11	12,89	88,14	11,86
% по ОЭ	51,06	48,94	60,49	39,51	67,02	32,98
% по СВ	58,54	41,46	66,53	33,47	72,06	27,94
ОЭ = (53,53-0,015 сКл+0,093 сП)×0,0086 ВЭ						
% по весу	78,42	21,58	75,66	24,34	72,28	27,72
% по ОЭ	39,96	60,04	38,34	61,66	38,03	61,97
% по СВ	49,14	50,86	47,76	52,24	47,51	52,49
ОЭ = 10,365 + 0,026 сП + 0,275 сЖ – 0,176 сКл + 0,047 сБЭВ						
% по весу	80,62	19,38	80,98	19,02	—	—
% по ОЭ	43,94	56,06	47,60	52,40	—	—
% по СВ	52,51	47,49	55,61	44,39	—	—

* ОК – объемистые корма, КК – концентрированные корма

Консервирование кукурузы в молочной фазе спелости зерна обеспечивает наименьший удельный вес концентратов – 47,14 % при расчете классическим методом через перевариваемые питательные вещества (метод №1), а наибольший (60,04 %) – при расчете упрощенным методом по информации о клетчатке и сырому протеину. Необходимо подчеркнуть, что при использовании уравнения 4, где расчет основан на сырых компонентах органического вещества, получается заниженная оценка энергетической питательности силоса. Этот метод нельзя

считать пригодным для работы, так как не удалось определить содержание ОЭ в силосной массе при консервировании ее в фазу восковой спелости. Разработчики не позаботились об экстраполяции закономерности за пределы 32 % по содержанию сухого вещества. По этой причине нами было проведено табулирование каждого из представленных уравнений в диапазоне от 15 до 40 % сухого вещества силосуемой массы. Все остальные уравнения показали стабильный результат и, таким образом, могут применяться для расчетов.

Заключение. 1. Методы расчета содержания обменной энергии в силосах, применяемые на практике, не равнозначны по результатам вычислений. Расчет питательности по сырым компонентам органического вещества рассмотренными нами методами не дают адекватной оценки содержания энергии. Но ввиду простоты использования их необходимо совершенствовать, используя доступный статистический материал о питательности силосов.

2. Расчеты содержания энергии разными методами дают значительные расхождения. Насколько они существенны можно определить посредством составления оптимальных рационов, оптимизируемых по энергии и сухому веществу. Такой подход позволяет точно определить соотношение основных групп кормов в рационе. Можно рассчитать потребность в концентратах в зависимости от показателя концентрации обменной энергии в силосах.

3. Сравнительная оценка рационов с разными параметрами энергетической питательности кормов, показала, что при использовании точных методов определения энергоемкости кормов доля концентратов может быть снижена с 52,4 % до 37,4 % по обменной энергии в фазу молочно-восковой спелости зерна. В фазу восковой спелости эти значения составляют 52,49 % и 30,88 % соответственно. Такие соотношения получены при составлении рационов для высокопродуктивных коров с удоем 30–34 кг молока в сутки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, Н. В. Оптимизация уровня концентратов крупного рогатого скота / Н. В. Григорьев // Научные труды Кировской лугоболотной опытной станции «Проблемы и перспективы природопользования». – Киров, 1999. – С. 84–95.
2. Григорьев, Н. В. Биологическая полноценность кормов / Н. В. Григорьев, Н. П. Волков, В. С. Воробьев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 286 С.
3. Гаврилов, Г. В. Моделирование структуры кормопроизводства сельскохозяйственного предприятия. Методические указания и индивидуальные задания / Г. В. Гаврилов. – М.: Издательство МСХА, 2005
4. Горчаков, А. А. Компьютерные экономико-математические модели / А. А. Горчакова, И. В. Орлова. – М.: ЮНИТИ, 1995. – С. 26.
5. Грицюк С. Н. Математические методы и модели в экономике / С. Н. Грицюк, Е. В. Мирзоева, В. В. Лысенко. – М.: Феникс, 2007.
6. Копенкин, Ю. И. Моделирование использования кормов на сельскохозяйственных предприятиях / Ю. И. Копенкин. – М.: Изд-во МСХА, 2004.
7. Кормление сельскохозяйственных животных / А. Я. Райхман, М. В. Шупик [и др.]. – Горки, 2014. – 236 с.
8. Райхман, А. Я. Приемы составления рационов с использованием персонального компьютера / А. Я. Райхман. – Горки, 2006. – 56 с.
9. Райхман, А. Я. Совершенствование системы кормления молочного скота средствами информационных технологий / А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2013. – 152 с.

10. Райхман, А. Я. Оптимизация рационов лактирующих коров при различном потреблении сухого вещества кормов / А. Я. Райхман // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: материалы XVI международной научно-практической конференции. – Горки, 2013. – С. 292–296.

11. Райхман, А. Я. Моделирование рационов лактирующих коров с использованием энергетических добавок. / А. Я. Райхман // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2014. – Вып. 17. – С. 214–221.

12. Райхман, А. Я. Эффективность использования объемных кормов разного класса качества в рационах лактирующих коров. / А. Я. Райхман // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сборник научных трудов. – Горки: БГСХА, 2017. – Вып. 20. – Ч. I. – С. 247–256.

13. Самыкин, В. А. Возделывание кукурузы на зерно без гербицидов / В. А. Самыкин, И. Я. Пигорев, И. А. Оксененко // Современные наукоемкие технологии, 2008. – № 4, С. 58–60.

14. Самыкин, В. Н. Урожайность и биоэнергетическая оценка агроприемов при возделывании кукурузы на зерно в зернопропашном севообороте в условиях Белгородской области / В. Н. Самыкин, В. Д. Соловиченко, А. А. Потрясаев // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 7. – С. 27–29.

15. Хайруллин, Ф. Н. Экономическая эффективность использования кормов / Ф. Н. Хайруллин // Молочное и мясное скотоводство. – 2007. – № 6.