

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО РАЦИОНА НОВОТЕЛЬНЫХ КОРОВ

П.П. Ракецкий, канд. с.-х. наук, доцент (БГАТУ); А.Я. Райхман, канд. с.-х. наук, доцент (БГСХА); С.Н. Пилук, канд. с.-х. наук, Ж.В. Романович, мл. н. с. (РУП НПЦ НАН Беларуси по животноводству)

### Аннотация

*Предложенная методика многоцелевого программирования оптимизации рационов кормления в условиях ограниченного ассортимента кормов способствовала как увеличению продуктивности в период раздоя, так и получению более высоких надоев в течение всей лактации.*

*The proposed method of multi-programming optimization of feed rations in a limited range of food contributed to the increase in productivity during milking, and to higher yields throughout lactation..*

### Введение

В деле получения высокой молочной продуктивности первостепенное значение имеет правильное кормление коров в первые 45 дней лактации [1, 2, 3]. В этот период животным требуется высокая концентрация энергии и питательных веществ в рационе, так как потребление кормов ограничено. Наукой о кормлении доказано, что с возрастанием продуктивности увеличивается потребность в энергии и обеспеченности протеином каждой энергетической единицы [4]. Однако себестоимость рационов кормления напрямую зависит от уровня включения концентратов, содержащих дорогостоящие белковые корма, количество которых связано, в свою очередь, с качеством объемистых кормов [1, 5].

Конструируя рационы коров для высокой молочной продуктивности на ранней стадии лактации, необходимо учитывать следующие аспекты:

- ограниченное потребление сухих веществ рациона, которое достигает максимума лишь к 12-14 неделям лактации [3];
- максимальная продуктивность, получаемая уже к концу первого месяца после отела;
- необходимость в высокой концентрации энергии и протеина в сухом веществе рациона для достаточного потребления их животными в единицу времени [1, 3];
- опасность возникновения расстройств пищеварения при повышении напряжения азотистого обмена и даже возможность отравления животных азотистыми веществами при нормировании 2,5 кг и более сырого протеина в сутки без учета его расщепляемости и баланса азота в рубце.

При высокой продуктивности, когда потребность в протеине велика, необходимо тщательно контролировать его качество. Создание оптимальных условий

для развития микроорганизмов является ключевой задачей в оптимизации питания молочного скота [3, 4].

Вместе с тем, для обеспечения достаточным количеством легкодоступной энергии как микрофлоры рубца, так и организма хозяина, надо оптимизировать уровень углеводного питания коров. Избыток легкоферментируемых углеводов нежелателен также, как и их недостаток. Современные нормы кормления предписывают дифференцированный подход в нормировании собственно сахаров и легкорастворимой части крахмала растений, с одной стороны, и нерасщепляемых углеводов, таких как стабильный крахмал – с другой [3, 5].

Таким образом, из литературных источников видно, что вопрос оптимизации рационов с учетом перечисленных показателей, в условиях кормовой базы хозяйств нашей республики изучен недостаточно.

Целью работы явилось конструирование средствами компьютерной оптимизационной модели оптимального рациона кормления новотельных коров для достижения максимальной сбалансированности по основным жизненно важным элементам питания с учетом высокого уровня протеинового питания, качества протеина и углеводных фракций в кормах.

### Основная часть

#### Материал и методика исследований

Опыт проводился в МОУСП «Староборисов» Борисовского района Минской области в январе-апреле 2007 года по следующей схеме (табл. 1).

Отбор животных в группы производился с учетом текущей продуктивности и продуктивности за предшествующие лактации, продуктивности матерей, линии отца, возраста, лактации, живой массы и физиологического состояния (количество суток после отела). Учетный период начинался не ранее 10 дня

Таблица 1. Схема опыта

Показатели	Группа	
	I	II
Назначение подопытной группы животных	Контроль	Опыт
Количество животных, голов	20	20
Уравнительный период		
длительность, дней	10 Контрольный рацион	10 Контрольный рацион
Кормление		
Учетный период		
I		
длительность, дней	45 Контрольный рацион	45 Опытный рацион
Кормление		
II		
длительность, дней	30 Контрольный рацион	30 Контрольный рацион
Кормление		

после отела и продолжался 45 дней. К этому времени все подопытные коровы были раздоены до максимальной продуктивности, а скармливание опытного рациона продолжалось не менее 10 дней после достижения пика продуктивности. После завершения раздоя все животные находились на контрольном рационе (II период опыта), составленном с учетом потребностей коров во всех нормируемых элементах питания. После завершения опыта продолжался учет молочной продуктивности по контрольным дойкам вплоть до завершения лактации.

Учитываемые показатели:

- поедаемость кормов по группе в целом;
- расход кормов – проведением контрольного кормления не менее 2-х раз за каждый период опыта;
- общие показатели питательности кормов, поедаемых животными контрольной и опытной групп;
- количество надоенного молока от каждой коровы – по данным контрольных доек;
- содержание жира в молоке;
- изменение живой массы животных.

Нетрадиционные показатели питательности кормов, такие как баланс азота в рубце, нерасщепляемый протеин, стабильный и нестабильный крахмал, неволокнистые углеводы и используемый сырой протеин, рассчитывали методом приближения на основании справочных данных путем пересчета на сухое вещество кормов. Чистая энергия лактации рассчитывалась по регрессионному уравнению.

Оптимизация рационов кормления подопытных животных проводилась средствами модели-прототипа, разработанной авторами на основе математических библиотек Solver, входящих в состав пакета прикладных программ MS Office. Модель была построена по принципу многоцелевого программирования. Целевое программирование является расширением линейного программирования, предполагающим наличие системы предпочтений при работе как минимум с двумя или несколькими целями [6, 7, 8]. Следовало отыскать такое

соотношение кормов, которое оказалось бы наилучшим и в то же время оставалось технологичным, поскольку не представляется возможным изменять его в рационах каждого отдельного животного [5].

В практике экономико-математического моделирования достаточно часто возникает ситуация, когда требуется отыскать не оптимальное, а «достаточно хорошее» решение. Иными словами, требуется достичь несколько целей одновременно хотя бы до минимально удовлетворительных уровней [6, 8].

В нашей модели минимизируется сумма переменных отклонений (как недостаток, так и избыток) потребления жизненно важных элементов питания с учетом коэффициентов их значимости. Значимость элементов питания связана с особенностями физиологии пищеварения жвачных животных и, по существу, косвенно определяет потенциальное недополучение продукции на единицу отклонения того или иного показателя от значения, рекомендованного научно-обоснованными нормами. В этом и заключается основная цель решения модели, но при этом необходимо найти и самое эффективное, с точки зрения экономики, решение. Поэтому второй по значимости целью решения является минимизация стоимости рациона. Минимизировать:

$$Z = \sum_{i=1}^n \mu_i (u_i + v_i) + \sum_{j=1}^m c_j x_j \rightarrow \min,$$

где  $Z$  – целевая функция,

$u$  – переменная недостатка;

$v$  – переменная избытка;

$\mu$  – коэффициент значимости  $i$ -го показателя питательности;

$n$  – количество оптимизируемых показателей;

$m$  – количество доступных для оптимизации кормов;

$c$  – стоимость единицы  $j$ -го корма;

$x$  – количество в рационе  $j$ -го корма.

Количество оптимизируемых показателей не превышало 14 наименований, а общее число элементов питания, рассчитанных в рационах, было не менее 44. К ним относятся соли микро- и макроэлементов, витамины и др. В оптимизируемую модель включались основные параметры питания, влияющие непосредственно на соотношение кормов в рационе. Как правило, в реальных моделях их значительно меньше, поскольку некоторые элементы питания не оптимизируются, а балансируются путем введения дополнительных кормовых ресурсов [5].

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Предлагаемая методика, основанная на оптимизационной модели целевого программирования, позволила с высокой степенью точности рассчитать соотношение кормов, получив требуемую по норме концентрацию энергии, а также сбалансировав рацион по протеину и его фракциям, добиться положи-

тельного баланса азота в рубце и достаточного потребления углеводов (табл. 2).

**Таблица 2. Потребление питательных веществ и энергии коровами контрольной группы в период раздоя**

Показатели	Норма	Факт	+ - к норме
СВ, кг	19,54	20,80	1,26
ЧЭЛ, МДж	136,80	143,05	6,25
Сырой протеин (СП), г	3322	3322	0
Нерасщепляемый СП, г	1063	776	-287
Усвояемый СП, г	3150	3224	74
Баланс азота в рубце, г	19,5	13	-7
Сырой жир, г	877	572	-305
Сырая клетчатка, г	3322	3346	24
Стабильный крахмал, г	585	927	342
Сахар, г	1368	2058	690
Нестабильный крахмал, г	1950	5879	3929
НДК, г	5667	6673	1006
Неволокнистые углеводы, г	6840	8518	1678
КДК, г	3713	3596	-117
Сочность, %		62,28	
Стоимость, тыс. руб.		8,15	
Концкорма на 1 кг молока, г		281,25	
Концентраты, % по ЧЭЛ		45,16	

\* стоимость приводится в ценах на 1.01.2007 года.  
\* СВ – сухое вещество, ЧЭЛ – чистая энергия лактации  
НДК – нейтрально-детергентная клетчатка.  
КДК – кислотно детергентная клетчатка.

В состав рационов контрольной и опытной групп входили: силос кукурузный, сенаж злаковый, сено клеверо-тимофеевки, свекла полусахарная и комбикорм. Однако в опытном варианте свеклы было почти в 2 раза меньше, а сена больше. Кроме того, специально приготовленный комбикорм содержал 23,9 % сырого протеина, а в контрольной группе – 21,4 %. При этом в комбикорм для опыта вводилось 15,83 % соевого шрота, тогда как белковые компоненты комбикорма для контрольной группы были представлены только рапсовым и подсолнечниковым шротами. Содержание расщепляемых в рубце фракций здесь было значительно больше.

Для поддержания белкового кормления коров при высокой продуктивности на раздое не удастся выдержать рекомендованный уровень энергии и сухого вещества. В соответствии с потребностью коров на раздое, количество сырого протеина должно составлять 17,5-19,0 % в сухом веществе рациона. В контрольном варианте мы приблизились к такому показателю, но при этом животные должны потреблять на 1,26 кг сухого вещества больше расчетного количества, что не всегда возможно из-за недостаточной адаптации желудочно-кишечного тракта в первый месяц лактации.

В рационе недостаточно нерасщепляемого сырого протеина (287 г), что нежелательно, особенно при высоком уровне протеинового кормления (3322 г на голову в сутки). Отрицательный баланс азота в рубце (-7 г) сви-

детельствует о недостаточной обеспеченности микроорганизмов рубца этим веществом. Количество сахара, с другой стороны, значительно превышает потребность в нем животных. При этом нельзя не учитывать значительное количество в рационе нестабильного крахмала, способного быстро распадаться в рубце до простых сахаров, что позволяет, в свою очередь, снизить удельную массу в рационе дорогостоящих корнеплодов. Для ликвидации дефицита жира в рационе вводили 2 % подсолнечного масла в комбикорм. Балансирование минеральных веществ и витаминов производили путем введения в комбикорм специальных премиксов, и по этим показателям кормление коров, как контрольной, так и опытной групп, было равноценным.

В опытном варианте рациона наблюдается значительный избыток неволокнистых углеводов (1149 г), что меньше, чем в контроле (1678 г), и свидетельствует о возможности увеличения доли грубых кормов при их высоком качестве. В нашем случае невозможно было увеличить долю сена, так как концентрация продуктивной энергии в сухом веществе рациона при этом снизилась бы значительно. Себестоимость рационов оказалась практически одинаковой. Высокая цена соевого шрота в опытном варианте частично компенсировалась снижением в рационе полусахарной свеклы. В обоих вариантах расход концентратов на 1 кг молока был одинаковым и составлял 281 г. (табл. 3).

**Таблица 3. Потребление питательных веществ и энергии коровами опытной группы в период раздоя**

Показатели	Норма	Факт	+ - к норме
СВ, кг	19,54	20,01	0,47
ЧЭЛ, МДж	136,80	133,21	-3,59
Сырой протеин (СП), г	3322	3322	0
Нерасщепляемый СП, г	1063	927	-136
Усвояемый СП, г	3150	3081	-69
Баланс азота в рубце, г	19,5	29	10
Сырой жир, г	877	539	-338
Сырая клетчатка, г	3322	3248	-74
Стабильный крахмал, г	585	1129	544
Сахар, г	1368	1368	0
Нестабильный крахмал, г	1950	4909	2959
НДК, г	5667	6116	449
Неволокнистые углеводы, г	6840	7989	1149
КДК, г	3713	3526	-187
Сочность, %		58,36	
Стоимость, тыс.руб		8,28	
Концкорма на 1 кг молока, г		281,25	
Концентраты, % по ЧЭЛ		47,30	

Сравнительная эффективность производства молока представлена в табл. 4.

Методика расчета основана на утверждении того, что повышение удоя в период раздоя позволяет получить дополнительную продукцию в течение оставшихся 7-8 месяцев лактации. Количественно зако-

**Таблица 4. Экономическая эффективность производства молока в опыте**

Показатели	Группа	
	Контроль	Опыт
Количество животных в группе, голов	20	20
Суточный надой на 1 корову, кг		
в начале опыта	19,4	19,25
после раздоя	25,45	27,4
Прогнозируемый удой за лактацию, кг	5647	6193
Получено дополнительно молока за лактацию на 1 корову, кг		546
Цена реализации 1 кг молока, тыс. руб.	0,48	0,48
Цена реализации дополнительной продукции на 1 корову, тыс. руб.		262,08
Стоимость суточного рациона, тыс.руб	8,15	8,28
Стоимость рациона за 45 суток опыта, тыс.руб.	366,75	372,6
Дополнительные затраты на рацион за период опыта, тыс. руб.		5,85
Прибыль в расчете на 1 корову за период опыта, тыс. руб.		256,23
Прибыль в расчете на 20 подопытных коров за период опыта, тыс. руб.		5124,6

номерность эта определена средствами регрессионного анализа большого количества лактаций через уравнение, позволяющее построить лактационный график с достаточной точностью (в пределах одного типа лактационной кривой).

Разность в продуктивности за лактацию рассчитывали путем табулирования лактационной функции в программе Excel с одновременным суммированием результатов.

#### Заключение

Оптимизация рационов новотельных коров с учетом таких показателей, как сырой протеин, расщепляемый и нерасщепляемый в рубце протеин, используемый протеин, а также баланс азота в рубце, обуславливает необходимость изменения, как структуры рациона, так и рецепта балансирующего комбикорма концентрата. При одинаковой удельной массе концентрированных кормов (45-47 %) в составе опытного комбикорма увеличилась доля сырого протеина до 23,9 % по сравнению с контролем, где его было 21,14 % в расчете на 1 кг натурального корма. Избыточное содержание нестабильного крахмала и сахара позволило снизить количество полусахарной свеклы, что нивелировало

высокую стоимость дорогих белковых добавок в комбикорме для опытной группы.

Методика многоцелевого программирования при оптимизации рационов оказалась достаточно эффективной именно в условиях ограниченного ассортимента кормов в хозяйстве. Когда не существует возможности составления идеального, т.е. сбалансированного по всем нормируемым элементам питания рациона, алгоритм последовательного приближения к наилучшему варианту с учетом значимости факторов кормления приобретает особое значение. Линейное программирование не подходит для решения такой задачи.

Экономическая эффективность моделирования рационов раздаиваемых высокопродуктивных коров по заданным параметрам складывается как за счет прибавки продуктивности в период раздоя, так и получением более высоких надоев в течение всей лактации. При разнице в пиковой продуктивности на уровне 2 кг молока в сутки, можно получить более 500 кг (в описываемом опыте - 546 кг) молока от коровы дополнительно за 9 месяцев лактации, что составляет 256,23 тыс. руб. в расчете на 1 голову.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология пищеварения и кормление крупного рогатого скота : учеб. пособ. для высш. учеб. заведений / В. М. Голушко [и др.]. – Гродно: ГГАУ, 2005. – 480 с.
2. Горячев, И. И. Кормление высокопродуктивных коров / И. И. Горячев, А. А. Богуш, Н. В. Пилюк. – Мн.: БелНЦИМ АПК, 1996. – 28 с.
3. Дурст, Л. Кормление сельскохозяйственных животных / Л. Дурст, М. Витман. – Винница: Нова Книга, 2003. – 420 с.
4. Григорьев, Н. В. Оптимизация уровня концентратов крупного рогатого скота / Н. В. Григорьев // Проблемы и перспективы природопользования: сб. науч. тр. – Киров, 1999. – С. 84-95.
5. Райхман, А. Я. Влияние технологии содержания и кормления на уровень сбалансированности рационов лактирующих коров / А. Я. Райхман // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. – В. 9, ч. 2. – Горки, 2006. – С. 71-78.
6. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А. П. Калашников [и др.]. – Москва, 2003. – 456 с.
7. Мур, Д. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Д. Мур, Л. Уэдэрфорд. – 6-е изд. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 1024 с.
8. Charnes, A. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming / A. Charnes, W. Cooper. – New York: John Wiley, 1961.