

УДК 004 (075 8)

Н.Н. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент
доцент кафедры высшей математики и информационных технологий¹

Э.М. ДУНЬКО, канд. экон. наук, доцент
доцент кафедры высшей математики и информационных технологий¹

¹Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь

Статья поступила 12 апреля 2018г.

ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА РАЦИОНА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В статье описана математическая модель экономической оптимизации рациона кормления сельскохозяйственных животных по критерию минимизации его стоимости с учетом сбалансированности по компонентам питания и по соотношениям показателей питательности. Показано как, оставаясь в окрестности оптимального решения, можно варьировать массой кормов в рационе для рационального использования их запасов. Представленную технологию расчета рациона в условиях экономической оптимизации можно применить в системе управления кормлением животных в сельскохозяйственных предприятиях любой формы собственности и масштабов производства.

Ключевые слова: рацион кормления, сельскохозяйственные животные, оптимизация, сбалансированность, показатели, математическая модель.

Введение. Одной из ключевых составляющих в решении проблемы повышения эффективности отечественного животноводства является экономическая оптимизация кормления животных. В таких условиях кормления критериями оптимизации могут быть выбраны максимальная прибыль, максимальная рентабельность, минимальная стоимость рациона, максимальная продуктивность и др. [1]. При ограничении денежных средств на приобретение кормов наибольшее значение имеет стоимость рациона. Минимизируя стоимость рациона животных, можно добиваться достижения максимальной прибыли или рентабельности при соблюдении требований сбалансированности питания животных.

Формализация проблемы. При планировании рациона кормления можно выделить два основных технологических подхода [2]:

- ✓ расчет рациона для индивидуального кормления животных;
- ✓ расчет рациона для кормления группы животных.

Индивидуальное кормление приносит максимум отдачи от подбора корма для отдельно взятого животного. При этом применение данной технологии требует дополнительных затрат на создание автоматизиро-

ванной системы кормления с контролем поедания корма каждым животным, на которые решаются лишь крупные высокотехнологичные хозяйства. Поэтому среди животноводческих предприятий наиболее распространен групповой способ кормления животных.

Рацион для кормления группы животных рассчитывается по характеристикам «среднего» животного. Оптимальный рацион при этом зависит от состава группы и изменяется в зависимости от физиологического состояния животных.

Поскольку физиологические характеристики животных непрерывно изменяются, а также имеется временная вариативность стоимости кормов, то один и тот же рацион не может быть оптимальным на протяжении всего периода кормления. С другой стороны, экономически и технологически не оправдана и частая смена рациона. Исходя из этого, возникает необходимость в оптимизации рационов на заданный временной период.

Постановка задачи. Пусть имеется определенный набор кормов из N наименований, используемый животноводческим предприятием, тогда рацион можно описать множеством кормов X :

$$X = \left\{ x_j \mid x_{\min}^j \leq x_j \leq x_{\max}^j, j = \overline{1, N} \right\} \quad (1)$$

где x_j – масса j -го корма в рационе (независимая переменная),

x_{\min}^j, x_{\max}^j – минимально и максимально допустимые массы j -го корма в рационе.

Питательность рациона описывается матрицей FB :

$$FB_i = \sum_{j=1}^N b_{ij} * x_j, \quad (2)$$

где FB_i – содержание i -го компонента питания в рационе ($i = \overline{1, M}$);

b_{ij} – содержание i -го компонента питания в единице j -го корма;

x_j – масса j -го корма в рационе;

M – количество нормируемых компонентов питания.

Сбалансированность рациона по компонентам питания характеризуется абсолютным и относительным отклонением от нормы [2]:

$$\Delta FB_i = FB_i - NB_i, \quad (3)$$

$$\beta(FB_i) = \frac{FB_i}{NB_i}, \quad (4)$$

где ΔFB_i – абсолютное отклонение от нормы содержания в рационе i -го компонента питания;

NB_i – норма содержания в рационе i -го компонента питания;

$\beta(FB_i)$ – относительное содержание в рационе i -го компонента питания.

Поскольку в организме животного отдельные вещества могут подавлять или усиливать действие друг друга, то для обеспечения нормального протекания физиологических процессов необходимо обеспечивать в рационе не только достаточное количество компонентов питания, но и выдерживать заданные требования показателей питательности для некоторых компонентов:

$$PP_k = f_k(FB, X), \quad (5)$$

где PP_k – значение k -го соотношения показателей питательности ($k = \overline{1, K}$)

f_k – функция, которой описывается k -ое соотношение;

FB – множество нормируемых компонентов питания;

X – множество кормов в рационе;

K – количество нормируемых соотношений.

Сбалансированность рациона по соотношениям показателей питательности будет иметь вид [2]:

$$\Delta PP_k = PP_k - NPP_k, \quad (6)$$

$$\beta(PP_k) = \frac{PP_k}{NPP_k}, \quad (7)$$

где ΔPP_k – абсолютное отклонение от нормы k -го показателя питательности в рационе;

NPP_k – норма k -го показателя питательности в рационе;

$\beta(PP_k)$ – относительное содержание k -го показателя питательности в рационе.

Общая стоимость кормов $C_{рац}$, входящих в рацион (стоимость рациона) вычисляется формулой (8):

$$C_{рац} = \sum_{j=1}^N c_j * x_j, \quad (8)$$

где c_j – цена j -го корма в рационе;

x_j – масса j -го корма в рационе.

Учитывая вышесказанное, модель экономической оптимизации кормления животных может быть описана следующим образом: найти вектор проектных переменных

$\vec{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определяющий такой рацион кормления животных, что значение целевой функции, определяющей стоимость рациона, принимает минимальное значение

$C_{рац} = \sum_{j=1}^N c_j * x_j \rightarrow \min$, при выполнении системы функциональных неравенств:

$$|1 - \beta(FB_i)| \leq \alpha, \quad i = \overline{1, M} \quad (9)$$

$$|1 - \beta(PP_i)| \leq \alpha, \quad i = \overline{1, M} \quad (10)$$

$$x_{\min}^j \leq x_j \leq x_{\max}^j, \quad j = \overline{1, N} \quad (11)$$

где α некоторая заданная погрешность расчетов, (9) – группа ограничений, обеспечивающая сбалансированность рациона по компонентам питания, (10) – группа ограничений, обеспечивающая сбалансированность рациона по соотношениям показателей питательности, (11) – группа ограничений на допустимую массу каждого корма в рационе.

Апробация модели проведена на базе одного из хозяйств Брестской области в рамках реализации проекта по совершенствованию

технологии кормления крупнорогатого скота, нацеленного на повышение показателей эффективности и результативности.

Пусть необходимо рассчитать оптимальный по стоимости рацион кормления группы коров, находящейся в определенной фазе лактации, с известными средними по группе качественными и количественными значениями показателей: масса, жирность молока, процентное содержание белка, с целью получения желаемого среднесуточного удоя. Состав рациона формируется на основе кормовой базы хозяйства. В таблице 1 приведены имеющиеся на момент проведения расчетов корма и их стоимость. Список компонентов питательности кормов приведен в таблице 2.

Список требований показателей питательности представлен в таблице 3.

Таблица 1 – Характеристика кормовой базы хозяйства

№ п/п	Наименование корма	Стоимость (C_j), руб. за 1 кг
1.	Солома ячменная	0,05
2.	Сенаж злаково-разнотравный	0,07
3.	Силос кукурузный	0,07
4.	Патока кормовая	1
5.	Жом свекловичный свежий	0,075
6.	Кукуруза зерно	0,3
7.	Овес зерно	0,22
8.	Тритикале	0,3
9.	Рожь зерно	0,3
10.	Шрот подсолнечниковый	0,426
11.	Мел кормовой	0,2
12.	Соль поваренная	0,22
13.	Сода пищевая	1

Таблица 2 – Нормируемые компоненты питания

№ п/п	Наименование компонента питания	Условное обозначение, ед. измерения	Норма содержания компонента питания ¹ (NB_i)
1.	Кормовая единица	КЕ	20,2
2.	Обменная энергия	ОЭ, МДж	204,9
3.	Сухое вещество	СВ, кг	18,8
4.	Сырой протеин	СП, г	2920,0
5.	Сырой жир	СЖ, г	700,0
6.	Сырая клетчатка	СК, г	3200,0
7.	Чистая энергия лактации	ЧЭЛ, МДж	122,3

Окончание таблицы 2

8.	Сахар и расщепленный крахмал	Сах+расщКр, г	3850,0
9.	Кальций	Ca, г	113,0
10.	Фосфор	P, г	71,0
11.	Магний	Mg, г	30,0
12.	Калий	K, г	184,0
13.	Усвоенный сырой протеин	nXP, г	2690,0
14.	Рубцовый баланс азота	PBA, г	5,0
15.	Медь	Cu, мг	190,0
16.	Цинк	Zn, мг	1180,0
17.	Марганец	Mn, мг	1160,0
18.	Кобальт	Co, мг	14,0
19.	Йод	I, мг	16,0
20.	Селен	Se, мг	4,0
21.	Витамин А	A, тыс. МЕ	140,0
22.	Витамин D	D, тыс. МЕ	25,0
23.	Витамин Е	E, мг	715,0

¹Примечание – Нормы приведены для категории дойных коров в средней фазе лактации живой массой 535 кг, суточный удой 25 кг, белок - 3,1 %, жирность - 3,8 %
Источник: Разработано по материалам [3].

Таблица 3 – Характеристики показателей питательности

k	Показатель	Ед. измерения	NPP_k ²
1	Молокообразование ЧЭЛ	кг	25±0,9
2	Молокообразование nXP	кг	25±0,9
3	Потребление СВ объемистых кормов	кг	11,3
4	Клетчатка в СВ	%	16–18
5	Ca:P		1,5–2:1
6	Влажность кормосмеси	%	45–55
7	ЧЭЛ от концентрированных кормов в рационе	%	40
8	ЧЭЛ от силосных кормов в рационе	%	20
9	ЧЭЛ от сенажных кормов в рационе	%	20
10	ЧЭЛ от сена, соломы и жома в рационе	%	12

²Примечание - Данные о нормах предоставлены экспертом
Источник: Разработано по материалам [3].

Решение задачи экономической оптимизации по стоимости рациона реализовано в программном модуле, разработанном сотрудниками УО «Полесский государственный университет» в рамках реализации проекта по совершенствованию технологии кормления крупнорогатого скота, нацеленного на повышение показателей эффективности и результативности.

Результаты расчета приведены в таблице 4.

Сбалансированность данного рациона выполнена с погрешностью расчета $\alpha=5\%$, что показано на примере оценки сбалансированности рациона по компонентам питания в таблице 5.

Результатом применения полученного расчетным путем оптимального рациона на экспериментальной группе животных стало значительное повышение качественных и количественных характеристик молока.

Таблица 4 – Оптимальный по стоимости рацион питания

j	Наименование корма	Масса корма (x_j), кг	Стоимость ($c_j x_j$), руб.
1	Солома ячменная	2,3	0,115
2	Сенаж злаково–разнотравный	13	0,91
3	Силос кукурузный	16	1,12
4	Патока кормовая	0,5	0,5
5	Жом свекловичный свежий	6	0,45
6	Кукуруза зерно	1,4	0,42
7	Овес зерно	1,7	0,374
8	Тритикале	1,7	0,51
9	Рожь зерно	0,9	0,27
10	Шрот подсолнечниковый	2,2	0,9372
11	Мел кормовой	0,065	0,013
12	Соль поваренная	0,095	0,0209
13	Сода пищевая	0,065	0,065
Стоимость рациона:			5,7051

Таблица 5 – Оценка сбалансированности рациона по компонентам питания

i	Компонент	FB_i	$\beta(FB_i)$	$ 1 - \beta(FB_i) $
1	КЕ	21,09	1,04	4,19
2	ОЭ, МДж	203,96	1,00	0,44
3	СВ, кг	19,17	1,02	1,97
4	СП, г	3025,98	1,04	3,63
5	СЖ, г	713,00	1,02	1,86
6	СК, г	3020,59	0,94	5,61
7	ЧЭЛ, МДж	128,16	1,05	4,78
8	Сах+расщКр, г	4060,29	1,05	5,46
9	Са, г	116,00	1,03	2,65
10	Р, г	74,44	1,05	4,84
11	Мg, г	29,45	0,98	1,84
12	К, г	190,01	1,03	3,27
13	пХР, г	2800,73	1,04	4,12
14	РБА, г	4,98	1,00	0,40
15	Сu, мг	182,03	0,96	4,19
16	Zn, мг	1177,61	1,00	0,20
17	Mn, мг	1200,57	1,03	3,50
18	Со, мг	14,16	1,01	1,11
19	I, мг	15,44	0,96	3,52
20	Se, мг	4,11	1,03	2,87
21	А, тыс. МЕ	141,00	1,01	0,71
22	D, тыс. МЕ	24,42	0,98	2,33
23	Е, мг	684,52	0,96	4,26

Выводы. Представленную технологию расчета рациона в условиях экономической оптимизации можно применить в системе управления кормлением сельскохозяйственных животных совместно с модулями складской логистики и расчета экономических показателей эффективности.

Список литературы

1. Гатаулин, А.М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. Учебник. / А.М. Гатаулин [и др.]; под ред. А.М. Гатаулина. – М.: ИТК Гранит, 2009 – 432 с.

2. Лукьянов, Б.В. Экономическая оптимизация кормления сельскохозяйственных животных. Монография. / Б.В. Лукьянов, П.Б. Лукьянов. – М.: Изд-во Русайнс, 2017. – 190 с.

3. Чигрин, А.И. Эффективность балансирования комбикормов для коров по рубцово-стабильному протеину. / А.И. Чигрин // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота. – 2013. – № 12. – С. 176–179.

KOVALENKO N.¹

DUNKO A.¹

¹Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

THE TECHNOLOGY OF FARM ANIMALS RATION CALCULATION IN THE CONDITIONS OF ECONOMIC OPTIMISATION

The article describes a mathematical model of economic optimization of the diet of farm animals on the criterion of minimizing its cost, taking into account the balance of nutrition components and of nutritional indicators ratios. It is shown how, remaining in the vicinity of the optimal solution, it is possible to vary the amount of nutrition in the ration for effective stocks usage. The presented technology of calculation of a diet in the conditions of economic optimization can be applied in the management system of animal feeding in agricultural enterprises of any form of ownership and scale of production.

Keywords: *feeding ration, farm animals, optimization, balance, indicators, mathematical model.*

Received 12 April 2018