

degree of electrolytic dissociation of the magnetic field characteristics are established.

Magnetic induction, the chemical reaction rate, solubility, degree of electrolytic dissociation.

УДК 631.15: 004.9

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ
БАЛАНСИРОВАНИЯ РАЦИОНОВ КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО
РОГАТОГО СКОТА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

***А.Г. Сеньков, Е.В. Галушко, К.М. Шестаков,
кандидаты технических наук
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск***

Предложена математическая модель и алгоритм расчета сбалансированного рациона кормления крупного рогатого скота.

Крупный рогатый скот, рацион, оптимизация, система поддержки принятия решений.

Качественное кормление молочных коров является важным условием их высокой продуктивности. Поэтому составление сбалансированного по питательности рациона – это практическая задача, с которой постоянно приходится иметь дело специалисту-зоотехнику. Традиционно суть задачи оптимизации рациона кормления заключается в нахождении рациона с минимальной стоимостью при гарантированном обеспечении потребности животного во всех питательных компонентах. Недостатком такого подхода является перекорм животного, так как предполагается, что содержание в рационе каждого питательного компонента должно быть не меньше нормы. Кроме того, большое практическое значение имеет возможность задания в качестве исходных данных структуры рациона, т.е. планируемого процентного содержания того или иного из выбранных для составления рациона кормов.

Цель исследований – разработка математической модели и алгоритма расчета сбалансированного рациона кормления крупного рогатого скота (КРС), соответствующего научно разработанным нормам потребления по всем основным питательным компонентам.

Материалы и методика исследований. Исходными данными для расчета рациона молочной коровы, в соответствии с методиками, принятыми в Республике Беларусь, являются масса животного и удой: суточный удой – для лактирующих коров либо прогнозируемый удой за лакта-

цию – для сухостойных коров [1]. Считается, что от значений этих двух величин, в основном, зависит норма суточного потребления коровой основных питательных компонентов (сухое вещество, обменная энергия, протеин, жир, клетчатка и т.д.). Обозначим как вектор $\vec{D} = D_1, \dots, D_M = D_j \quad j=1, \dots, M$ – требуемую норму суточного потребления коровой j -го питательного компонента, где M – количество учитываемых при оптимизации рациона питательных компонентов.

Результаты исследований. Пусть специалистом-зоотехником выбрано N из имеющихся в хозяйстве кормов. Из выбранных N кормов необходимо составить такой рацион кормления, который должен удовлетворить потребности животного в M питательных компонентах в соответствии с требуемыми нормами.

Для математической формализации описанных требований для каждого из включенных в рацион кормов введем следующие обозначения:

a_{ij} – содержание j -го питательного компонента в 1 кг i -го корма ($i = 1, \dots, N$);

c_i – стоимость 1 кг i -го корма;

x_i – искомое суточное потребление i -го корма.

Вектор $\vec{R} = \vec{R}_1, \dots, \vec{R}_M = R_j \quad j=1, \dots, M$ – это вектор содержания в рассчитываемом рационе каждого из M питательных компонентов, причем j -й элемент вектора R_j определяется следующим выражением:

$$R_j = \sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i. \quad (1)$$

Тогда относительное отклонение содержания в рационе j -го питательного компонента от суточной нормы его потребления – это разность, деленная на значение суточной нормы, и в векторной форме может быть выражена так:

$$\vec{\delta} = \left\{ \frac{D_j - R_j}{D_j} \right\}_{j=1, \dots, M}. \quad (2)$$

Таким образом, вектор $\vec{\delta}$ – это вектор отклонений питательности рациона от нормы по отдельным питательным компонентам. Чем точнее питательность рациона будет соответствовать требуемым нормам, тем меньше должно быть значение нормы вектора $\vec{\delta}$. Поэтому в качестве целевой функции предлагается использовать норму вектора $\vec{\delta}$, определяемую как взвешенная сумма модулей его элементов:

$$Z \vec{x} = \|\vec{B} \cdot \vec{\delta}^T\| = \sum_{j=1}^M B_j \cdot \left| \frac{\left(\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i - D_j \right)}{D_j} \right|, \quad (3)$$

где $\vec{B} = B_j \quad j=1, \dots, M$, $B_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^M B_j = 1$ – вектор нормировочных коэффициентов, значения которых пропорциональны степени важности отклонений

рациона от нормы по тому или иному питательному компоненту. Значения коэффициентов B_j определяются методом экспертных оценок.

Таким образом, математическая формулировка задачи оптимизации рациона имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, & i=1, \dots, N; \\ \langle p_i = P_i \rangle, & i=1, \dots, N; \\ \sum_{i=1}^N a_{iCB} \cdot x_i \geq D_{CB}, \\ \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} \cdot x_i \geq D_{OЭ}, \end{cases} \quad (4)$$

$$Z \vec{x} \rightarrow \min,$$

где $X_{\min i}$, $X_{\max i}$ – начальные ограничения на минимальное и максимальное значение массы i -го корма в суточном рационе, задаваемые при необходимости пользователем;

$$p_i = \frac{a_{iCB} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N a_{iCB} \cdot x_i} \quad \text{либо} \quad p_i = \frac{a_{iOЭ} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N a_{iOЭ} \cdot x_i} \quad \text{– процент от сухого вещества}$$

либо обменной энергии всего рациона, обеспечиваемый i -м кормом (структура рациона);

P_i – задаваемые при необходимости пользователем начальные ограничения на допустимые значения p_i , определяющие желаемую процентную структуру рациона по сухому веществу либо по обменной энергии, фигурные скобки “ $\langle \rangle$ ” означают, что данное ограничение не обязательно присутствует в системе;

индексы «СВ», «ОЭ» – обозначают, соответственно, «сухое вещество» и «обменная энергия».

Задача (4) представляет собой задачу линейного программирования и может быть решена симплекс-методом с искусственным базисом [3]. Подробное описание алгоритма решения задачи (4) с использованием симплекс-метода с искусственным базисом приведено авторами настоящей статьи в работе [2].

Результатом решения задачи (4) будет рацион \vec{x} , оптимизированный по питательности, для которого сумма отклонений от требуемых норм питательности по основным учитываемым питательным компонентам будет минимальна. Т.е., рацион \vec{x} будет максимально приближен по содержанию основных питательных компонентов к требуемым нормам.

Предложенный подход к расчету оптимального рациона был использован в Белорусском государственном аграрном техническом университете (г. Минск) при создании компьютерной программы поддержки принятия решений при расчете рационов кормления молочных коров. Ее практическая апробация в хозяйствах Минской области Республики Беларусь показала, что при оптимизации рациона одновременно по 8 показателям (сухое вещество, обменная энергия, сырой протеин, сырая клет-

чатка, сырой жир, кальций, фосфор, соль поваренная) практически всегда достигается весьма точное совпадение питательности рассчитанного рациона с требуемыми нормами по двум-трем основным показателям (сухое вещество, обменная энергия, протеин), отклонения от нормы по которым не превышают 1 %. В то же время в некоторых случаях отклонения от нормы по остальным показателям могут быть достаточно большими, по кальцию, фосфору, клетчатке, например, отклонения от нормы могут достигать 10 – 15 %. Поэтому в качестве альтернативы описанной методики расчета рациона в данной работе предлагается также подход, суть которого состоит в поиске рациона, для которого отклонения питательности от нормы по всем учитываемым показателям лежали бы в некоторых допустимых границах. Математическая формулировка такого подхода имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \quad i = 1, \dots, N; \\ \langle p_i = P_i \rangle, \quad i = 1, \dots, N; \\ 0 \leq \frac{\sum_{i=1}^N a_{iCB} \cdot x_i - D_{CB}}{D_{CB}} \leq L_{CB}, \\ 0 \leq \frac{\sum_{i=1}^N a_{iOЭ} \cdot x_i - D_{OЭ}}{D_{OЭ}} \leq L_{OЭ}, \\ \left| \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i - D_j}{D_j} \right| \leq L_j, \quad j = 1, \dots, M, \quad j \neq 'CB', \quad j \neq 'OЭ', \\ Z \vec{x} \rightarrow \min, \end{array} \right. \quad (5)$$

где L_j – допустимые границы (в процентах) отклонения питательности рациона от нормы по j -му учитываемому параметру.

Значения L_j , подобно значениям коэффициентов B_j в (3), отражают степень важности совпадения питательности рациона с нормой по j -му компоненту: чем меньше L_j , тем точнее должно быть совпадение с нормой. Значения L_j следует определять методами экспертного оценивания. В данной работе предложено значения L_j определять обратно пропорционально значениям коэффициентов B_j :

$$\frac{L_j}{L_{CB}} = \frac{B_{CB}}{B_j}, \quad j = 1, \dots, M, \quad j \neq 'CB'. \quad (6)$$

Алгоритм расчета рациона следующий.

Шаг 1. Задается минимально допустимое значение границы отклонения питательности рациона от нормы по сухому веществу: 0,5 %.

Шаг 2. По формуле (6) определяются соответствующие значения границ отклонения питательности рациона от нормы по остальным учитываемым питательным компонентам $L_j, j = 1, \dots, M, j \neq 'CB'$.

Шаг 3. С помощью алгоритма симплекс-метода с искусственным базисом выполняется поиск решения оптимизационной задачи (5).

Шаг 4. Если решение не найдено, то значение границы отклонения по сухому веществу L_{CB} необходимо увеличить на 0.5 % и перейти к шагу 2.

Поиск повторяется до тех пор, пока не будет найдено решение оптимизационной задачи (5).

Выводы

Основным достоинством предложенной математической модели расчета рациона кормления коров является то, что специалист-зоотехник при составлении рациона имеет возможность, при необходимости, планировать его желаемую процентную структуру, исходя из зоотехнических требований, имеющихся в хозяйстве запасов данного корма и прочих условий.

Также следует отметить и то, что путем введения весовых коэффициентов B_j и L_j учитывается степень важности совпадения с нормой содержания питательных компонентов в рационе, т.е. балансирование рациона будет выполняться с максимальной точностью по основным питательным компонентам (обменная энергия, сухое вещество и т.д.), в то время как по остальным компонентам возможны отклонения от нормы в некоторых допустимых пределах.

Список литературы

1. Нормы кормления крупного рогатого скота: справ. / [Н.А.Попков, И.И. Горячев, В.К. Гурин и др.]. – Жодино: РУП «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.

2. Сеньков А.Г. Решение задачи расчета сбалансированного рациона кормления КРС методом линейного программирования / А.Г. Сеньков. // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – №3(11).– С. 144–147.

3. Bunday B.D. (1984): Basic Linear Programming. London WC1B 3DQ, Edward Arnold (Publishers) Ltd, 41 Bedford Square.

Запропоновано математичну модель та алгоритм розрахунку збалансованого раціону годівлі великої рогатої худоби.

Велика рогата худоба, раціон, оптимізація, система підтримки прийняття рішень.

This paper looks at mathematical model and algorithm of computation a well balanced ration for cattle feeding.

Cattle, feed ration, optimization, decision support system.