



УДК 631.363. 636.085

ДИНАМИЧНОСТЬ ПЛОТНОСТИ И КАЧЕСТВА КОРМОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Шацкий В.В., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет,
Тел.: (0619) 42-05-70

Аннотация – работа посвящена математическому моделированию изменения плотности и качества кормовой смеси в зависимости от фракционного состава компонентов рациона крупного рогатого скота.

Ключевые слова – корм, частицы, фракционный состав, рацион, единичный объем, вероятность расположения частиц, плотность кормовой смеси.

Постановка проблемы. Качество смешивания компонентов рациона оказывает существенное влияние на переваримость кормовой смеси и, как следствие, на продуктивность животных. Это влияние обусловлено изменением количества питательных веществ в порции корма, которая, как правило, имеет объем, изменяющийся в пределах неравномерности раздачи кормов раздатчиками, работающими по принципу объемного дозирования.

Различное расположение частиц одного вида корма приводит к колебанию плотности этой порции, а неравномерное смешивание разных по своим физико-механическим свойствам компонентов существенно усиливает это негативное явление. С изменением плотности кормового материала происходит количественное изменение питательных веществ, что и представляет научный интерес в теоретическом плане.

Анализ последних исследований. Ранее проведенные теоретические и экспериментальные исследования относительно влияния кормового материала на качество выполнения технологического процесса были направлены на исследование влияния фракционного состава на качество дозированной подачи и не касались процесса смешивания.

Цели статьи. Поэтому целью данных теоретических исследований является разработка модели порции корма, состоящей из различных компонентов стебельных кормов и определение закономерности изменения плотности и качества многокомпонентной смеси при ди-

наличности структуры и физико-механических свойств компонентов рациона.

Основная часть. При проведении теоретических исследований выдвинута следующая научная гипотеза - увеличение частиц одного вида корма не приводит к пропорциональному снижению количества частиц другого вида корма при постоянном объеме кормовой смеси. При этом происходит изменение плотности кормосмеси, а следовательно ее массы. Все это является основой изменения содержания питательных веществ в порциях неизменного объема.

Для определения изменения количества питательных веществ в порциях кормосмеси различного качества смешивания рассмотрим распределение частиц стебельного корма в порции, которая выдается животному при следующих концептуальных положениях:

- единичный объем V_1 состоит из элементарных объемов, в которых расположены центры частиц;

- единичный объем V_1 состоит из элементарных горизонтальных слоев, состоящих из элементарных площадок, где расположены центры (середина) частиц (одна площадка на одну частицу);

- чем больше длина частиц, тем больший элементарный объем и площадка приходится на частицу;

- пересечение частиц происходит с определенной вероятностью, которая зависит от расположения центра частицы на элементарной площадке, угла ее расположения и длины;

- высота элементарного слоя увеличивается с повышением расположения слоя (адекватно изменению плотности корма по высоте расположения) и зависит от размера частиц.

Такие концептуальные положения позволяют отобразить влияние фракционного состава компонентов рациона на высоту слоев, плотность кормосмеси и, следовательно, на питательность и энергетическую ценность. Для определения влияния количества частиц на плотность порции, выдаваемой животному, рассмотрим взаимодействие частиц, располагающихся в соседних элементарных объемах или на элементарных площадках.

Количество частиц N_v в единице (условно) объема рассчитывается исходя из среднего значения плотности ρ

$$\rho = \frac{M_{V_1}}{V_1} = \frac{\sum m_i n_i}{LBH}, \quad (1)$$

где M_{V_1} – масса единичного объема, кг;

V_1 – объем единичный, м³;

m_i – масса частицы i -ой фракции;

n_i – количества частиц i -ой фракции;

L, B, H – соответственно, длина, ширина и высота единичного объема порции, м.

В единичном объеме находится $N_{ед.ч} = \sum n_i$. На каждую частицу приходится элементарный объем, в котором расположен центр (средина) частицы $V_{эл} = V_1/\sum n_i$.

Количество этих элементарных объемов в горизонтальной плоскости единичного объема постоянно, а высота h_i изменяется обратно пропорционально плотности по высоте порции.

На горизонтальной площадке $F_1 = LB$ единичного объема находятся количество N_{fi} частиц, центры которых равновероятно располагаются на элементарной площади $F_{эл} = a^2$ (рис. 1).

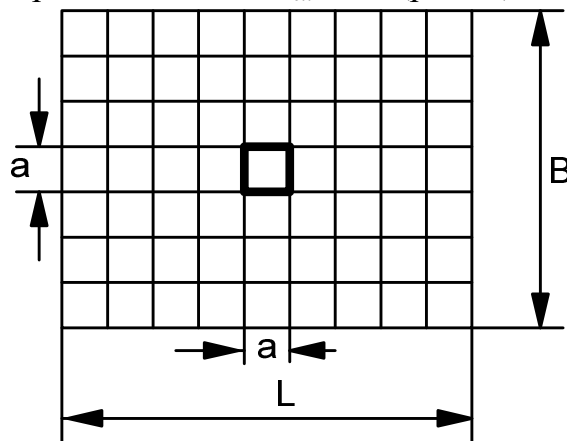


Рис.1. Схема расположения элементарных площадок

Для определения математического ожидания величины расстояния между центрами частиц, которое равно стороне квадрата элементарной площади, принимаем допущение – максимальное удаление центров частиц не может превышать половины средней длины частиц.

Положение близлежащих частиц (рис.2) определяется расстоянием между их центрами в системе координат x и y и углом α наклона линии соединяющей центры соседних частиц. Принимаем x изменяется от 0 до 0,5l, при этом y находится в диапазоне $0 < y < xtga$, а угол – в диапазоне $arctg y/x < \alpha < 0,5\pi$.

Поэтому математическое ожидание расстояния r между центрами частиц, которое приравнивается стороне квадрата элементарной площади, определяется выражением

$$\bar{r} = \frac{8}{\pi l^2} \int_0^{0,5\pi} d\alpha \int_0^{0,5l} dx \int_0^{xtg\alpha} (x^2 + y^2)^{0,5} dy = a. \tag{2}$$

Иначе математическое ожидание расстояния r между центрами частиц определяем через размер элементарной площадки, на которой располагается центр частицы. Зная количество частиц n_1 , находящихся в единичном объеме корма V_1 , определяем площадь слоя, в котором располагается известное количество частиц n_1 , и выявляем размер условной элементарной площадки F_{ei} , приходящуюся на одну частицу.

Сторона этой площадки будет равняться среднему расстоянию между центрами соседних частиц

$$F_{ei} = \frac{V_1 \sum m_i n_i}{BL_n H_n n_1 \rho h_{cl}} = a_i^2, \quad (3)$$

где V_1 - единичный объём порции с известным количеством частиц n_1 ;

h_{cl} - высота слоя порции;

m_i - масса i -ой частички корма;

n_1 - количество частичек i -го размера в объеме порции V_1 ;

B, L_n, H_n - ширина, длина и высота порции, объемом V_1 ;

ρ - плотность корма;

a_i - сторона квадрата условной площади, которая приходится на одну частицу.

Второй способ определения расстояния между центрами частиц одновременно является проверкой на адекватность основного метода определения этого расстояния.

Частицы корма располагаются на площади $F_{эл}$ под различным углом. Вероятность их пересечения можно определить как геометрическую вероятность – отношение площади взаимного пересечения кругов диаметром, равном длине частиц к площади двух соседних элементарных площадок $2F_{эл}$ (рис.2).

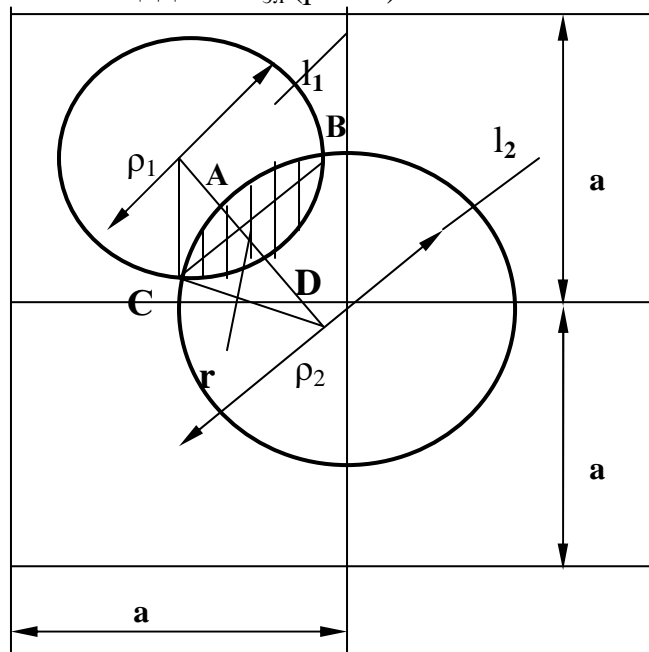


Рис.2. Схема расположения частиц корма на элементарных площадках

Эта вероятность пересечения зависит от длины частиц l_{1i} и l_{2i} , угла их расположения и расстояния между центрами частиц.

Расстояние r между центрами частиц O_1 и O_2 определяется как сумма расстояний от центров до радикальной оси пересечения кру-

гов, которое определяется исходя их известных формул планиметрии при $l_1 < l_2$

$$r_1 = r/2 - ((0,5l_2)^2 - (0,5l_1)^2)/2r \text{ и } r_2 = r/2 + ((0,5l_2)^2 - (0,5l_1)^2)/2r.$$

Углы между линией соединяющей центры частиц и самими частицами (см.рис.2) соответственно равны $\rho_1 = \arccos(2r_1/l_1)$ и $\rho_2 = \arccos(2r_2/l_2)$, а хорда $CB = 2r_1 \sin(\arccos 2r_1/l_1)$.

Тогда площадь взаимного пересечения кругов, диаметром равном длине пересекающихся частиц l_1 и l_2 , определяется как сумма площадей сегментов

$$S^{nep} = (\pi l_1^2 \rho_1)/180 - r_1^2 \sin(\arccos 2r_1/l_1) + (\pi l_2^2 \rho_2)/180 - r_1 r_2 \sin(\arccos 2r_1/l_1). \quad (4)$$

Вероятность P^{nep} пересечения частиц, располагающихся на соседних элементарных площадках, определяется как отношения площади пересечения к площади двух элементарных площадок

$$P^{nep} = [\pi(l_1^2 \rho_1 - l_2^2 \rho_2)/360 - 2r_1 \sin(\arccos 2r_1/l_1)(r_1+r_2)]/a^2. \quad (5)$$

Количество пересеченных частиц $N_{nep\ cл}$ в слое определяется как произведение количества частиц $N_{чсл}$ в слое на вероятность пересечения

$$N_{nep\ cл} = N_{чсл} P^{nep}.$$

Среднее квадратическое отклонение количества частиц, расположенных с пересечением, определяется по известной формуле $\sigma_{nep\ cл} = N_{чсл} P^{nep} (1 - P^{nep})$.

Колебание плотности порции, а, следовательно, и её массы зависит от фракционного состава, количества и различного расположения частиц разных кормов рациона в объеме порции (σ_{mli}).

Рассмотрим случай пересечения частиц, длина которых превышает величину стороны квадрата элементарной площадки (рис.3)

Положение близлежащих частиц определяется расстоянием между их центрами в системе координат x и y и углом φ' их пересечения, а поэтому пересечение возможно при определенных условиях.

При $l_1 > a$ пересечение частицы l_1 происходит при расположении центров частиц в пределах $0 < x < a$, $0 \leq y \leq 0,5l_1 \sin \varphi'$, и угла -

$$\arctg \frac{x \operatorname{tg} \xi_o}{0,5l_2 - x} \leq \varphi' \leq \arcsin \frac{x \operatorname{tg} \xi_o}{0,5l_1} \quad 0 \leq \xi_o \leq 0,5\pi$$

Поэтому математическое ожидание величина пересеченной частицы l_i определяется по выражению

$$l_i^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_0^{0,5\pi} d\xi_o \int_{\arctg \frac{x \operatorname{tg} \xi_o}{0,5l_2 - x}}^{\arcsin \frac{x \operatorname{tg} \xi_o}{0,5l_1}} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi'} \left(0,5l_1 - \frac{y}{\sin \varphi'} \right) dy. \quad (6)$$

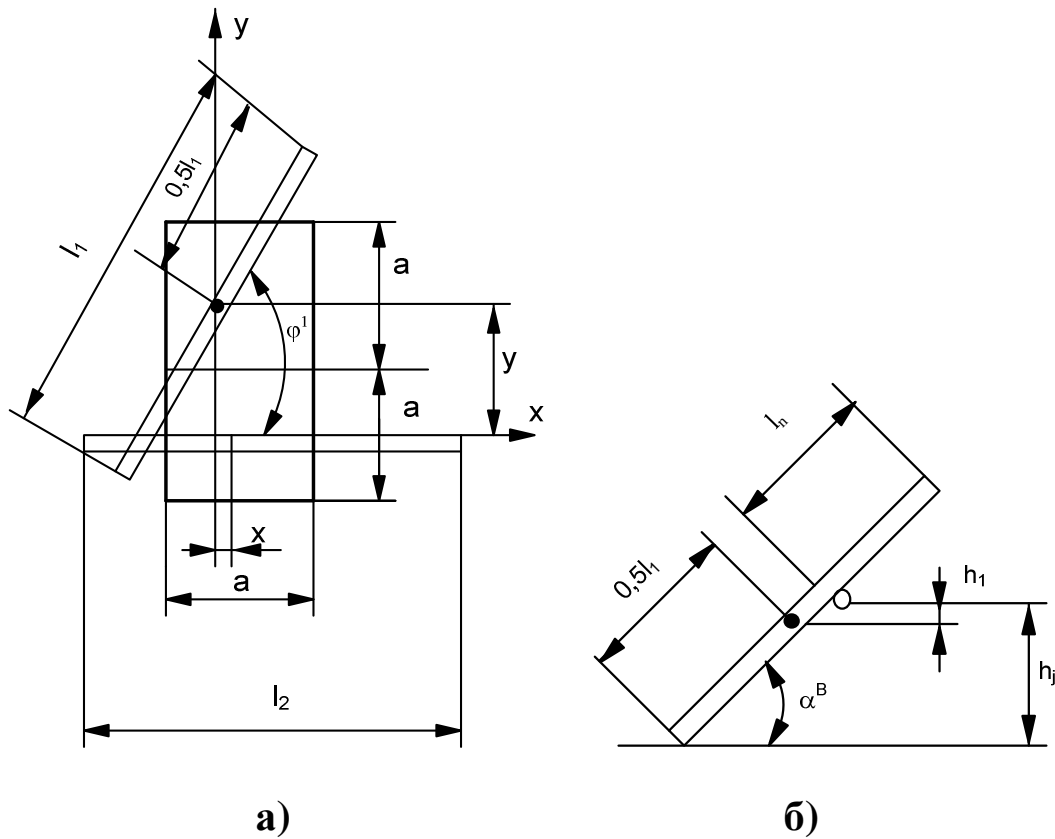


Рис.3. Схема возможного расположения частиц на горизонтальной (а) и в вертикальной (б) плоскостях

Среднее квадратическое отклонение величины пересеченной части первой частицы l_1 определяется следующим выражением

$$\sigma_{l_i^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_0^{0,5\pi} d\xi_o \int_{\text{arctg} \frac{x \text{tg} \xi_o}{0,5l_2-x}}^{\text{arcsin} \frac{x \text{tg} \xi_o}{0,5l_1}} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi'} \left(0,5l_1 - \frac{y}{\sin \varphi'} \right)^2 dy - (l_1^n)^2 \right]^{0,5} \cdot (7)$$

При длине частиц, когда $0,5l_1 < a$ и $0,5l_2 < a$ пересечение частицы l_1 происходит при расположении центров частиц в пределах $0 < x < a$, $0 \leq y \leq 0,5l_1 \sin \varphi'$, и угла φ' - $\arccos \frac{0,5l_2 - x}{0,5l_1} \leq \varphi' \leq 0,5\pi$.

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение пересеченной части частицы l_1 определяется выражениями

$$l_i^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_{\arccos \frac{0,5l_2-x}{0,5l_1}}^{0,5\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi'} \left(0,5l_1 - \frac{y}{\sin \varphi'} \right) dy. \quad (8)$$

$$\sigma_{l_1^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_{\arccos \frac{0,5l_2-x}{0,5l_1}}^{0,5\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi^1} \left(0,5l_1 - \frac{y}{\sin \varphi^1} \right)^2 dy - (l_1^n)^2 \right]^{0,5} \cdot \quad (9)$$

Величина пресеченной части второй частицы l_2 определяется при следующих условиях. Расположение центров частиц изменяется в пределах $0 < x < a$, $0 < y < 2a$, , а угла пересечения в пределах $\arcsin \frac{y}{0,5l_1 - l_1^n} \leq \varphi' \leq 0,5\pi$.

В этом случае математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение величины пресеченной части частицы l_2 определяется по выражениям

$$l_2^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_0^{2a} dy \int_{\arcsin \frac{y}{0,5l_1 - l_1^n}}^{0,5\pi} (0,5l_2 - x - y \operatorname{ctg} \varphi^1) d\varphi^1, \quad (10)$$

$$\sigma_{l_2^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_0^{2a} dy \int_{\arcsin \frac{y}{0,5l_1 - l_1^n}}^{0,5\pi} (0,5l_2 - x - y \operatorname{ctg} \varphi^1)^2 d\varphi^1 - (l_2^n)^2 \right]^{0,5} \cdot \quad (11)$$

При длине частиц, когда $0,5l_1 < a$ и $0,5l_2 < a$ пересечение частицы l_1 происходит при расположении центров частиц в пределах $0 < x < a$, $0 \leq y \leq 0,5l_1 \sin \varphi^1$, и угла - $\arccos \frac{0,5l_2 - x}{0,5l_1} \leq \varphi' \leq 0,5\pi$.

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение пресеченной части частицы l_2 определяется выражениями

$$l_{2i}^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_{\arccos \frac{0,5l_2-x}{0,5l_1}}^{0,5\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi^1} (0,5l_1 - x - y \operatorname{ctg} \varphi^1) dy, \quad (12)$$

$$\sigma_{l_2^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^a dx \int_{\arccos \frac{0,5l_2-x}{0,5l_1}}^{0,5\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi^1} (0,5l_1 - x - y \operatorname{ctg} \varphi^1)^2 dy - (l_1^n)^2 \right]^{0,5} \cdot \quad (13)$$

При различных длинах частиц когда $l_1 < l_2$ их пересечение происходит при расположении центров частиц в пределах $0 \leq x < a$, $0 < y < 0,5l_1$ и угле пересечения частиц φ' , который изменяется в пределах $\arcsin \operatorname{tg} \frac{y}{0,5l_1} < \varphi' < 0,5\pi$.

Поэтому математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение величины пересечения части частицы l_1 определяется выражениями

$$l_i^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^{0,5l_1} dy \int_0^a dx \int_{\arcsin \frac{y}{0,5l_1}}^{0,5\pi} \left(\frac{l_1}{2} - \frac{y}{\sin \varphi'} \right) d\varphi', \quad (14)$$

$$\sigma_{l_i^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^{0,5l_1} dy \int_0^a dx \int_{\arcsin \frac{y}{0,5l_1}}^{0,5\pi} \left(\frac{l_1}{2} - \frac{y}{\sin \varphi'} \right)^2 d\varphi' - (l_1^2) \right]^{0,5}. \quad (15)$$

Для случая, когда $l_1 > l_2$ пересечение происходит когда расположение центров частиц изменяется в пределах $0 \leq x < a$, $0 \leq y \leq 0,5l_1 \sin \varphi'$, а угол φ' - в пределах от 0 до $0,5\pi$. Тогда математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение пересеченной части второй частицы l_2 определяется выражениями

$$\bar{l}_2^n = \frac{1}{2\pi a^2} \int_0^{2a} dy \int_{\arctg \frac{y}{0,5l_2}}^{0,5\pi} d\varphi \int_{0,5l_2 - \frac{y}{\tg \varphi}}^a \left(\frac{l_2}{2} - \frac{y}{\sin \varphi} \right) dx, \quad (16)$$

$$\sigma_{l_2^n} = \left[\frac{1}{2\pi a^2} \int_0^{2a} dy \int_{\arctg \frac{y}{0,5l_2}}^{0,5\pi} d\varphi \int_{0,5l_2 - \frac{y}{\tg \varphi}}^a \left(\frac{l_2}{2} - \frac{y}{\sin \varphi} \right)^2 dx - (l_2^n)^2 \right]^{0,5}. \quad (17)$$

Поскольку частицы второго и последующих слоев располагаются как минимум на две частицы или на частицу и плоскость, то следует рассмотреть вероятность пересечения 2-х частиц первого слоя частицей второго.

На рис. 4 представлена схема возможного расположения частиц (l_3 –длина частицы вышерасположенного слоя).

Зная вероятность пересечения частиц, можно определить количество частиц l_3 , которые, можно принять, располагаются горизонтально или под наклоном

$$n_{l_3}^i = (1 - P_{l_3}) N_{сл}^i \frac{n_1^i}{V_1^i}. \quad (18)$$

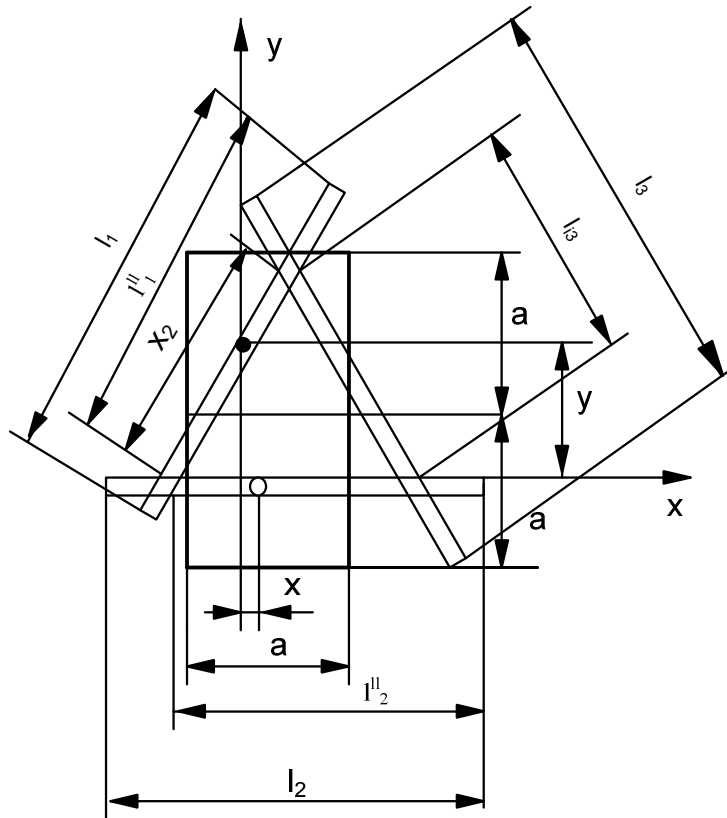


Рис. 4. Схема возможного расположения частиц вышерасположенного слоя на нижерасположенный.

Для определения вероятности пересечения частиц определим пределы интегрирования расположения третьей частицы на частице l_2 . Исходя из теоремы синусов определяем расстояние x_2 (см. рис.4)

$$x_2 = \frac{l_2^i \sin(\varphi^1 - \xi)}{\sin \xi}. \quad (19)$$

Пересечение частиц l_1 и l_2 третьей l_3 происходит при заданном ξ если

$$0 \leq x_2 \leq \frac{l_2^i \sin(\varphi^1 - \xi)}{\sin \xi}.$$

Тогда вероятность P_{l_3} пересечения двух частиц l_1 и l_2 третьей l_3 определяется выражением

$$P_{l_3} = \frac{1}{(\pi - \varphi^1) l_2^{II}} \int_0^{\pi - \varphi^1} dx \int_0^{\frac{l_2 \sin(\varphi + \xi)}{\sin \varphi_1}} d\xi. \quad (20)$$

Математическое ожидание внутренней пересеченной части l_{l_3} частицы l_3 определяется выражением

$$\bar{l}_{13} = \frac{1}{(\pi - \varphi^1) l_2^{11}} \int_0^{\pi - \varphi^1} \int_0^{\frac{l_2 \sin(\varphi + \xi)}{\sin \varphi_1}} \frac{x \sin \varphi^1}{\sin(\varphi^1 - \xi)} dx d\xi. \quad (21)$$

Среднее квадратическое отклонение этой величины

$$\sigma_{l_{13}} = \left[\frac{1}{(\pi - \varphi^1) l_2^{11}} \int_0^{\pi - \varphi^1} \int_0^{\frac{l_2 \sin(\varphi + \xi)}{\sin \varphi_1}} \left(\frac{x \sin \varphi^1}{\sin(\varphi^1 - \xi)} \right)^2 dx d\xi - \bar{l}_{13}^2 \right]^{0,5}. \quad (22)$$

Высота элементарного слоя частиц определяется как среднее значение высот вероятностного расположения частиц на элементарных площадках известного количества и вида (длина, толщина, масса частицы).

При этом за основное расположение принимается:

- горизонтальное расположение частицы в элементарном слое (высота равна диаметру частицы);
- наклонное расположение частиц с пересечением.

В первом случае высота расположения частицы на элементарной площадке определяется как диаметр горизонтально расположенных частиц, а во втором – как высота расположения центра частицы, пересекающей горизонтально расположенную частицу.

При приготовлении кормосмеси происходит смешивание частиц *i*-го и *j*-го вида корма. В этом случае в порции единичного объема располагается известное количество n_l частиц разного *i*-го и *j*-го вида корма, которое определяется рационом $n_l = n_{li} + n_{lj}$, где n_{li}, n_{lj} – математическое ожидание количества частиц *i*-го и *j*-го вида корма в порции согласно рациону.

Соотношение компонентов рациона влияет на объем порции или плотность кормового материала (смеси). Единица массы M_i, M_j определяется количеством частиц различного размера, находящихся в единице объема V_{li} и V_{lj} с определенной плотностью ρ_j .

$$\begin{aligned} M_i &= \sum m_i n_i = \rho_i V_{li}; \\ M_j &= \sum m_j n_j = \rho_j V_{lj}. \end{aligned} \quad (23)$$

Высота элементарного (единичного) слоя определяется как среднее значение высот центральных частей горизонтальных и наклонных (расположенных с пересечением) частиц. Высота горизонтальных частиц равна диаметру частиц $h_{cr}^d = d$, а наклонных определяется по выражению

$$h_{сл}^n = \frac{0,5 d_2 l_1}{l_1^i - l_1^n} = + \frac{d_2}{\cos \arcsin \frac{d_2}{l_1 - l_1^n}}, \quad (24)$$

тогда средняя высота элементарного слоя может определяться выражением

$$h_{сл} = \frac{\sum_{l \min}^{l \max} h_{сл}^n k_i n_1 P^{nep} + \sum_{l \min}^{l \max} h_{сл}^d k_j n_1 (1 - P^{nep})}{\sum_{l \min}^{l \max} n_1}, \quad (25)$$

где P^{nep} - вероятность пересечения частиц;
 $k_i k_j$ - доля частиц i -го и j -го вида корма в порции корма.

Неравномерность распределения частиц в единичном объеме оценивается отклонением массы компонентов (возможно основных) порции рациона от задаваемого значения [1]

$$\theta = \frac{t \sigma_{\Sigma}}{\bar{\rho}} \cdot 100 \%, \quad (26)$$

где t - уровень значимости, определяемый для степеней свободы $k = n-1$ и уровня вероятности $P=0,95$;
 σ_{Σ} - среднее квадратическое отклонение плотности порций;
 $\bar{\rho}$ - математическое ожидание плотности порции.

Плотность порций зависит от количества и массы частиц компонентов рациона, расположенных в объеме порции.

Принимая во внимание, что частицы нижнего слоя могут быть как горизонтальными, так и наклонными, то частица l_3 может быть расположена как горизонтально, так и наклонно. Это соотношение коррелируется с количественной оценкой расположения частиц нижнего слоя.

Для определения отклонения расположения центров части по вертикали рассмотрим случай, когда падающая частица одним концом опирается на частицу, лежащую на корме и другим равновероятно занимает положение в пространстве (см. рис. 3б). Угол наклона частицы зависит от высоты h_j расположения частицы ее длины l_i и величины l^n пересеченной части.

Тогда математическое ожидание h и дисперсия D_{hl} высоты расположения центра частицы определяется выражениями [5].

Для $(l_1 - l^n) \geq h_j$

$$h_{l_{\geq}} = \frac{1}{\arcsin \frac{h_j}{l_i - l_i^n}} \int_0^{\arcsin \frac{h_j}{l_i - l_i^n}} \left[h_j - \left(\frac{l_i}{2} - l_i^n \right) \sin \alpha \right] d\alpha, \quad (27)$$

$$D_{he_{\geq}} = \frac{1}{\arcsin \frac{h_j}{l_i - l_i^n}} \int_0^{\arcsin \frac{h_j}{l_i - l_i^n}} \left[h_j - \left(\frac{l_i}{2} - l_i^n \right) \sin \alpha \right]^2 d\alpha - h_{e_{\geq}}^2, \quad (28)$$

для $l_i - l_i^n < h_j$

$$h_{ei<} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[h_j - \left(\frac{l_i}{2} - l_i^n \right) \sin \alpha \right] d\alpha, \quad (29)$$

$$D_{he<} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[h_j - \left(\frac{l_i}{2} - l_i^n \right) \sin \alpha \right]^2 d\alpha - h_{e<}^2. \quad (30)$$

Дисперсия D_R высоты порции, зависящая от расположения частиц в пространстве, определяется отклонениями угла α' и величиной l^n пересеченной части [5].

$$D_R = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{\sum_{l_{\min}}^{l_{\max}} \left[\sqrt{D_h} \left(1 + \frac{\sqrt{D_l}}{l_1 - l^n} \right)^2 P_i N_{cl} P_l \right]}{N_{cl}}, \quad (31)$$

где n_j - количество слоев в порции;

N_{cl} - количество частиц в слое;

P_e - вероятность расположения соседних частиц с пересечением.

$$P_{\frac{l_1}{2} < a} = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^{\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi'} dy \int_0^{0,5(l_2 - l_1 \cos \varphi')} dx, \quad (32)$$

$$P_{\frac{l_1}{2} > a} = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^a dx \int_{\arccos \frac{0,5l_2 - x}{0,5l_1}}^{\pi} d\varphi' \int_0^{0,5l_1 \sin \varphi'} dy. \quad (33)$$

Тогда среднее квадратическое отклонение объема порции, вызванное изменением высоты порции, определяется формулой [5]

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{D_R}{N_{cl} \cdot h_{cl}}} \cdot HBL_n, \quad (34)$$

где H, B, L - соответственно, высота, ширина и длина порции корма.

Следовательно, среднее квадратическое отклонение массы и плотности порции, зависящее от массы частиц их длины и расположения в объеме порции, определяется выражениями

$$\sigma_{m_{l_1}} = \frac{M_n \cdot \sigma_v}{BHL_n} = \sum_{l_{min}}^{l_{max}} \left(m_i p_i \frac{\sigma_v N_1}{V_1} \right), \quad (35)$$

$$\sigma_\rho = \frac{\rho \sigma_v}{BHL_n} = \sum_{l_{min}}^{l_{max}} \left(m_i p_i \frac{\sigma_v N_1}{V_1} \right). \quad (36)$$

Используя полученные выражения возможно получить зависимости плотности порции корма от фракционного состава и количественное соотношение кормов, имеющих разные физико-механические свойства (в данном случае - массу и длину частиц).

Моделирование отклонения плотности порции рациона (табл.1) из-за различного соотношения компонентов рациона для коров со средним удоем 19,51 кг молока в сутки показывает, что чем больше отклонение плотности, тем

Больше отклонение сухого вещества и его неравномерности распределения. И как следствие больше потери продуктивности животных.

Так изменение плотности кормовой смеси в диапазоне 239,4 – 277,5 кг/м³ в 1 варианте вызывает изменение массы выдаваемых животным корма с 38,12 до 44,2кг при среднем значении 43 кг.

Таблица 1 - Плотность кормовой смеси, кг/м³

№	Показатели							
1 вариант	Масса порций, кг	38,12	40	41,6	43	43,5	43,9	44,2
	Плотность, кг/м ³	239,36	251,16	261,209	270,00	273,14	275,65	277,53
2 вариант	Масса порций, кг	40,58	41,50	42,30	43,00	43,82	44,64	45,34
	Плотность, кг/м ³	254,80	260,58	265,604	270,00	275,15	280,30	284,69

Среднее квадратическое отклонение сухого вещества составило в пределах 14,05 – 14,87 кг , а неравномерность распределения сухого

вещества достигало значений 4,77-5,51% при максимальных и минимальных порциях кормовой смеси. (рис. 5)

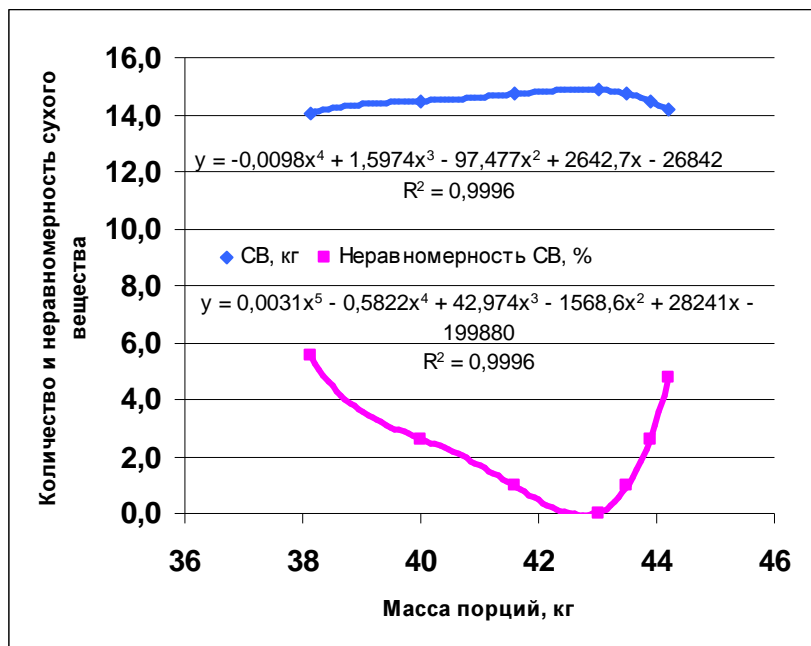


Рис. 5. Изменения сухого вещества в порции кормовой смеси

Отклонения компонентов кормовой смеси вызывает незначительное (1,7%) повышение протеина при отклонении основного компонента –силоса в меньшую сторону (табл.2) и значительное (12,9%) снижение при отклонении силоса в большую. Соответственно изменяются содержание жира (12,7 и 2,9%), клетчатки (47,9 и 33,6%) и БЭВ (1,4 и 8,7%).

Таблица 2 – Отклонение питательных веществ в порции кормовой смеси

Питательные вещества, г	Масса порций, кг						
	38,12	40	41,6	43	43,5	43,9	44,2
Протеин	1969,46	1985,8	1970	1936	1865,55	1782,1	1685,65
Жир	345,54	366,2	382,2	396	401,85	405,7	407,55
Клетчатка	2609,2	2823,7	2988,8	5008	3199	3265	3326
БЭВ	7503,46	7602	7626,7	7608	7448,35	7228,7	6949,05

Происходящие изменения содержания в кормовой смеси питательных веществ вызывает и снижение удоя при отклонении массы корма в ту или иную стороны (рис.6). При массе порции 38,12 кг удой составляет 18,41 кг, а с увеличением порции до 44,2 кг удой снизился до 16,77кг.

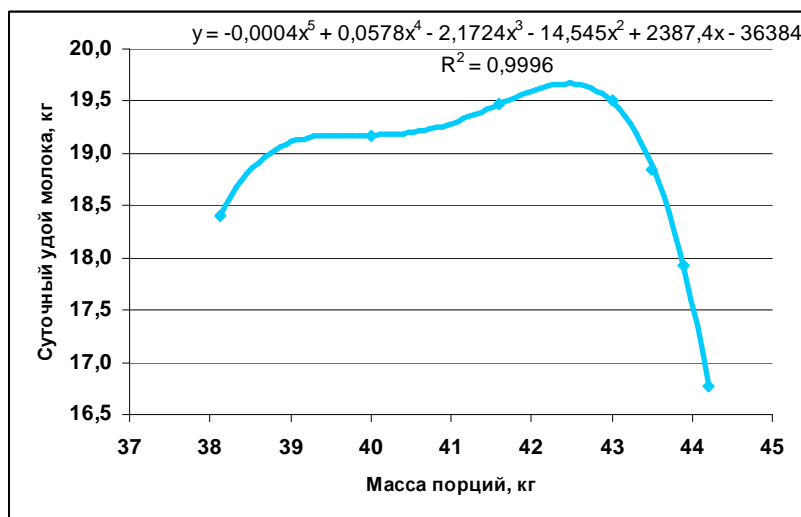


Рис.6. Зависимость суточного удою коров от отклонения массы порций.

Уменьшение диапазона отклонения плотности кормовой смеси во втором варианте (табл.1) привело к снижению отклонения сухого вещества (пределы изменения – 14,73 – 14,65кг при среднем значении – 14,87 и неравномерности его распределения в порции кормовой смеси до 0,9-1,4% (рис.7). При этом произошло изменение количества питательных веществ иначе, чем в 1 варианте.

Протеин и БЭВ в порциях с меньшей массой увеличились соответственно на 5,3 и 2,2%, а жир и клетчатка уменьшились - на 7,0 и 4,4%. В порциях с большей массой количество жира увеличилось на 5,3%, а протеин, клетчатка и БЭВ снизились, соответственно, на 8,7, 31,3 и 5,8%. (табл.3).

Таблица 3 – Отклонение питательных веществ в порции кормовой смеси

Питательные вещества, г	Масса порций, кг						
	40,58	41,5	42,3	43	43,82	44,64	45,34
Протеин	2039,6	2008,9	1973,1	1936	1895,63	1838,46	1767,01
Жир	368,4	378,5	387,3	396	405,85	412,7	417,31
Клетчатка	2825,8	2933,1	3031	5008	3242,42	3344,24	3439,18
БЭВ	7781,8	7742,9	7681,2	7608	7518,91	7374,82	7167,13

Это привело к изменениям суточного удою коров. При скармливании порций кормовой смеси с меньшей массой (40,58кг) удои повысились до 19,97 кг при среднем значении 19,51кг. При потреблении животными кормовой смеси массой 45,34 кг удои снизились до 17,98кг (рис. 8).

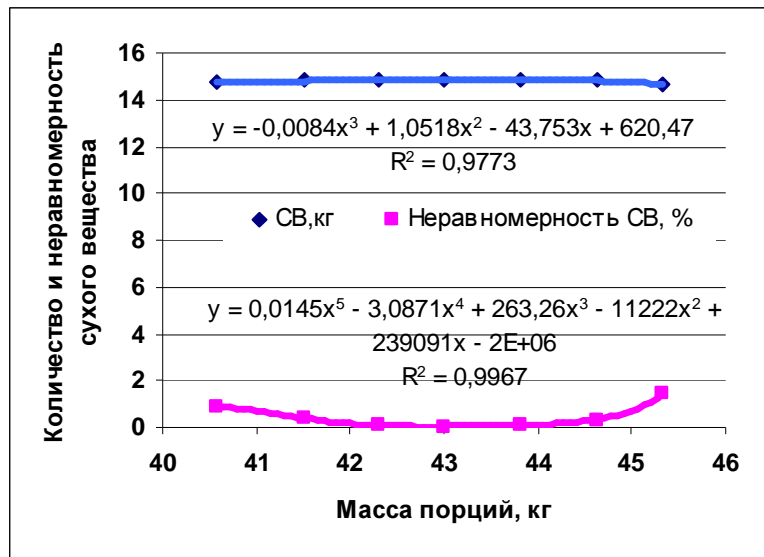


Рис.7. Изменения сухого вещества в порции кормовой смеси.

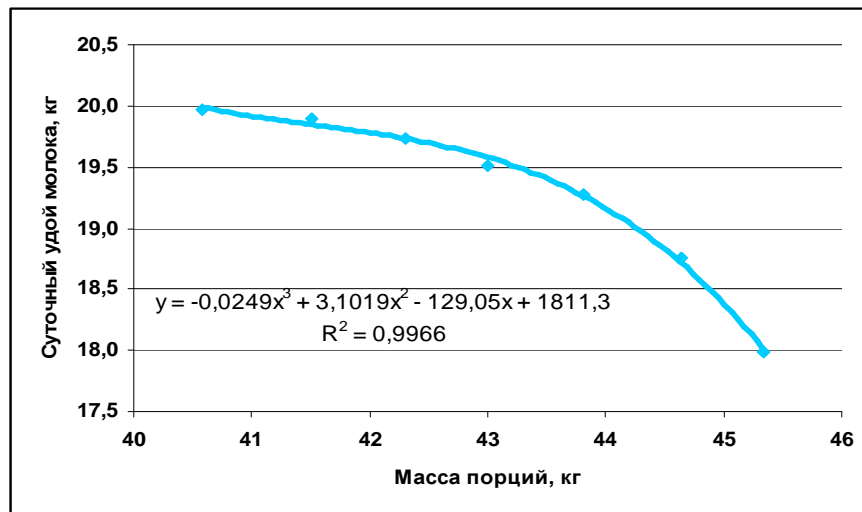


Рис.8. Зависимость суточного удоя коров от отклонения массы порций.

Это происходит из-за снижения в своем большинстве питательных веществ в рационе по причине различной их концентрации в компонентах рациона.

Выводы. Проведенные теоретические исследования позволили создать математическую модель динамичности плотности и качества порции кормовой смеси для животных. Моделирование формирования порций в смесителях с объемным или массовым способом дозирования компонентов рациона животных позволит выявить технологические требования к кормам и оборудованию дозирования и смешивания.

Выводы. Используя полученные выражения, можно получить зависимости плотности порции корма от фракционного состава и ко-

личественное соотношение кормов, имеющих разные физико-механические свойства (в данном случае - массу и длину частиц).

Литература

1. Методика статистической обработки эмпирических данных. - М.; Изд-во Комитета стандартов мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1966, 100 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман – М., Высшая школа, 1972, 368с.
3. Венцель Е.С., Теория вероятностей Овчаров Л.А. /- 2-е изд., М., Наука, 1973, - 368 с.
4. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности,- 3-е изд., перераб.-М.: Физматгиз, 1961,-408с.
5. Шацкий В.В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов./ Запорожье, ПЦ «Х-ПРЕС»,1998, - 140с.

ДИНАМІЧНІСТЬ ЩІЛЬНОСТІ ТА ЯКОСТІ КОРМОВОЇ СУМІШІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

Шацкий В.В.

Анотація

Робота присвячена математичному моделюванню зміни щільності та якості кормової суміші в залежності від фракційного складу компонентів раціону великої рогатої худоби.

DYNAMIC QUALITY OF CLOSENESS AND QUALITY OF FEED MIXTURE FOR CATTLE

V. Shatsky

Summary

The work is sanctified to the mathematical design of change of closeness and quality of feed mixture depending on factious composition of components of ration of cattle.