

УДК 636.075:8

UDC 636.075:8

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА
БУНКЕРНОЙ КОРМУШКИ ДЛЯ ОТКОРМА
СВИНЕЙ**

**TECHNOLOGICAL SETUP OF A HOPPER
FEEDER FOR PIGS**

Коваленко Владимир Павлович
д.т.н., профессор
SPIN-код = 62089575

Kovalenko Vladimir Pavlovich
Dr.Sci.Tech., professor
SPIN-code = 62089575

Корнеев Дмитрий Витальевич
к-т.техн. наук, доцент

Korneev Dmitriy Vitalyevich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Лабетиков Вадим Михайлович
инженер
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Labetikov Vadim Mikhailovich
engineer
*Kuban State Agricultural University, Krasnodar,
Russia*

Обоснованы конструктивно-технологические параметры бункерной кормушки, обеспечивающие синхронизацию ее расхода и потребление кормов животными. Синхронизация этих показателей устраняет первопричину потерь кормов при откорме. Установлено, что определяющее влияние на потери кормов оказывают форма и геометрические параметры насыпи раздаваемых кормов на дне кормушки, зависящие от их физико-механических свойств и уровня загрузки бункерной кормушки. Условие равновесия насыпи комбикормов на дне кормушки обеспечивается за счет компенсации давления столба корма внутри бункера давлением собственного веса слоя пригрузки. Толщина слоя пригрузки пропорциональна высоте столба комбикорма в полости бункера и не зависит от технологического зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки. Установлено, что распределение выгружаемого корма происходит по всей плоскости дна кормушки. При этом в центре, соосно с осью выгрузного кормопровода образуется устойчивая застойная зона в форме конуса, выполняющего функции затвора и уменьшающего эффективную площадь выпускного канала. Установили, что изменение подачи кормушки достигается путем регулирования технологического зазора между выгрузным кормопроводом и ее дном в определенных пределах. Полученная зависимость подачи кормушки позволяет по известным физико-механическим свойствам кормов подобрать соответствующие конструктивные параметры выгрузного кормопровода для обеспечения потребности откармливаемой группы животных

Constructive-technological parameters of a hopper feeder have been established. They help to synchronize feeder's flow and feed consumption by animals. Synchronization of these factors eliminates the initial cause of feed loss during fattening. It was found out that the main influence on feed loss is exerted by shape and geometrical parameters of feedstuff fill at the bottom of feeder, which depend on their physical and mechanical properties and on the feedstuff level in a hopper feeder. The fill balance condition at the bottom of a feeder is provided by compensation of feedstuff weight pressure inside a hopper due to the weight of a surcharge layer. The thickness of layer is proportional to the height of feedstuff volume inside a hopper and does not depend on technological gap between discharging feed line and the bottom of a feeder. It is found out that the discharging feedstuff is distributed throughout the bottom of a feeder. There is a central nonmoving area in the cone shape in alignment with the axis of the discharging feed line. This area functions as a shutter, which reduces the effective area of discharging channel. It is determined that the flow of feedstuff is set by adjusting the technological gap between discharging feed line and its bottom within defined limits. In accordance with physical and mechanical properties of feed this dependence of feedstuff flow allows to determine corresponding functional parameters of discharging feed line in order to meet the needs of a group of fattening animals

Ключевые слова: ПАРАМЕТР, СЫПУЧЕЕ ТЕЛО, РЕЖИМ, КОМБИКОРМ, КОРМУШКА, БУНКЕР, СВИНЬЯ, НАСТРОЙКА, ЗАЗОР, КОРМОПРОВОД, ПОДАЧА, СЛОЙ, ЗОНА

Keywords: PARAMETER, GRANULAR MATERIAL, MODE, FEEDSTUFF, FEEDER, HOPPER, PIG, SETUP, GAP, FEED LINE, FLOW, LAYER, AREA

Применение бункерных кормушек для группового ненормированного кормления свиней на откорме не исключает потерь раздаваемых кормов [1]. Снижение потерь может быть достигнуто путем технологической настройки бункерной кормушки в соответствии с режимом потребления кормов.

Рассмотрим процесс разгрузки бункерной кормушки. В сыпучем теле, находящемся в напряженном состоянии образуются опасные сечения, по которым наиболее вероятно его разрушение при изменении условий равновесия. Установлено, что поток корма, истекающий из кормопровода на дно кормушки, скользит по плоскости AC , наклоненной к плоскости, перпендикулярной оси потока, под углом (Рисунок 1).

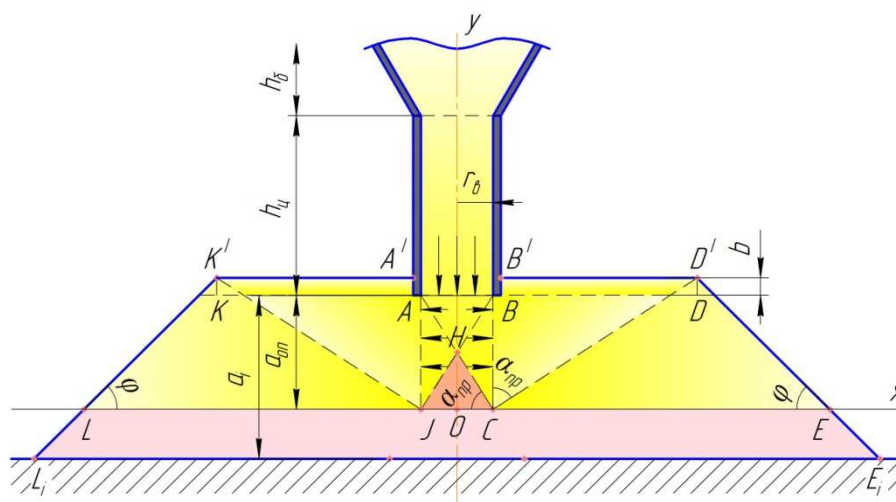


Рисунок 1 – Формирования застойной зоны при разгрузке бункерной кормушки.

Так как распределение корма происходит по всей плоскости дна кормушки, то в центре, соосно с осью Oy выгрузного кормопровода, образуется достаточно устойчивая застойная зона из частиц корма в форме конуса CHJ . Образовавшийся конус выполняет функцию затвора, уменьшая эффективную площадь выпускного канала, определяющую расход (производительность) кормушки. Диаметр основания застойного конуса соответствует диаметру выгрузного канала:

(1)

Это объясняется тем, что застойный конус существует только в зоне главного давления со стороны массы корма, находящейся внутри бункера.

При увеличении зазора между выгрузным отверстием и дном кормушки больше предельного его значения (α) начинает формироваться застойная подушка $LEE'L'$. При этом размеры слоя догрузки $KK'D'D$ останутся неизменными, так как максимальные их значения зависят от физико-механических свойств сыпучего тела и пропорциональны высоте столба корма внутри бункера кормушки.

Таким образом, увеличение зазора больше его предельного значения приведет к увеличению объема корма внутри кормушки за счет застойной подушки $LEE'L'$, однако площадь открытой поверхности корма увеличится незначительно за счет прироста образующих откосов (LL' и EE').

Стоит отметить, что объем корма, заключенного в застойном конусе, фактически является недоступным для животных, обслуживаемых бункерной кормушкой. Поэтому целесообразно застойный конус из выгружаемого корма конструктивно заменить отливом на дне кормушки в виде конуса с радиусом основания, равным радиусу выгрузного кормопровода и образующей, наклонной к дну кормушки под углом α . Более того, выполнив этот отлив из материала, имеющего коэффициент трения с выгружаемым кормом меньше, чем внутренний коэффициент трения самого корма, можно значительно уменьшить сопротивление истечению корма из полости бункера и тем самым повысить эффективность процесса истечения его в полость кормушки.

Эффективность потребления корма определяется величиной площади насыпи корма, доступной животным, одновременно принимающим корм из данной кормушки, а также скоростью пополнения корма в полости кормушки, обеспечивающей физиологические потребности животных во время кормления. При этом чрезмерное увеличение объема корма в

кормушке приведет только к увеличению потерь корма в процессе кормления. В связи с этим, пределы варьирования зазора α должны с одной стороны обеспечить требуемую площадь доступной для животных поверхности корма

$$S_p \geq S_{np}, \quad (2)$$

а с другой – расход корма, обеспечивающий своевременную его подачу, соответствующую суммарному потреблению одновременно обслуживаемых животных.

Расчетная площадь поверхности корма, доступная для животных при кормлении,

$$S_p = S_z + S_{\sigma.n.}, \quad (3)$$

где S_z - площадь горизонтальной части насыпи корма. Она зависит от величины зазора α и определяется по формуле:

$$S_z = \pi(r_g + BD)^2 - \pi r_g^2 = \pi(2r_g + BD)BD, \quad (4)$$

где

$$BD = (a + b)tg\alpha_{np}. \quad (5)$$

Толщина b слоя пригрузки, как было установлено ранее, зависит от физико-механических свойств корма, пропорциональна высоте столба корма, загруженной полости бункера, и определяется уравнением

$$b = \xi^2(h_y + h_g), \quad (6)$$

где b – толщина слоя пригрузки, м;

ξ - коэффициент бокового давления,

h_y - длина выгрузного кормопровода, м;

h_g - высота слоя корма в полости бункера, м.

Тогда с учетом (6) и (5), уравнение (4) примет вид:

$$S_z = \pi(2r_g + (a + \xi^2(h_y + h_g))tg\alpha_{np})(a + \xi^2(h_y + h_g))tg\alpha_{np}. \quad (7)$$

$S_{\sigma.n.}$ - площадь боковой поверхности откоса насыпи комбикорма.

Она имеет форму усеченного конуса и определяется по обще известной формуле [4];

$$S_{\sigma.n.} = \pi(r_{\sigma} + BD)l, \quad (8)$$

где l – образующая боковой поверхности откоса насыпи;

$$l = (a + b)\sin \varphi. \quad (9)$$

Тогда уравнение (8) с учетом уравнений (6), (5) и (9) примет вид:

$$S_{\sigma.n.} = \pi(r_{\sigma} + (a + \xi^2(h_u + h_{\sigma}))\operatorname{tg} \alpha_{np})(a + \xi^2(h_u + h_{\sigma}))\sin \varphi. \quad (10)$$

S_{mp} - площадь поверхности корма, требуемая группе животных, одновременно обслуживаемых бункерной кормушкой,

$$S_{mp} = nS_i, \quad (11)$$

где n – максимальное количество животных, одновременно обслуживаемых бункерной кормушкой;

S_i - площадь доступной поверхности корма, достаточная для приема корма одним животным.

Определим влияние зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки на расход корма при его выгрузке (Рисунок 2).

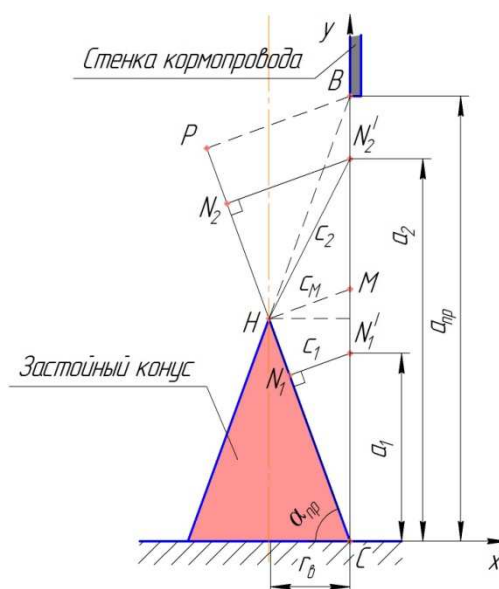


Рисунок 2 – К определению эффективного просвета щели выгрузки комбикорма

Величина предельного значения зазора a_{np} легко определяются геометрически (Рисунок 2):

$$a_{np} = 2r_6 \operatorname{tg} \alpha_{np}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) видно, что предельное значение зазора, соответствующее максимальной эффективности подачи корма в кормушку, зависит только от физико-механических свойств корма и размеров выгрузного отверстия.

Величина наименьшего расстояния между внутренней кромкой выгрузного кормопровода (точка В) и образующей застойного конуса (отрезок CH) определяет эффективный просвет выгрузной щели. При нахождении величины зазора a в пределах $0 \leq a \leq CM$, наименьшее расстояние будет определяться перпендикуляром c_1 , опущенным из точки В внутренней кромки выгрузного кормопровода, совпадающей с точкой В внутренней кромки выгрузного кормопровода, совпадающей с точкой N'_1 , на отрезок CH , являющийся образующей застойного конуса. Положение характерной точки М определится перпендикуляром c_m , проведенным к прямой CH в точке Н. При этом:

$$CM = \frac{c_m}{\cos \alpha_{np}}.$$

Так как $c_m = \frac{HC}{\operatorname{tg} \alpha_{np}} = \frac{r_6}{\cos \alpha_{np} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{np}} = \frac{r_6}{\sin \alpha_{np}}$,

то $CM = \frac{r_6}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}}. \quad (13)$

При нахождении величины зазора a в пределах $CM < a < a_{np}$ наименьшее расстояние будет определяться уже отрезком c_2 , являющимся гипотенузой прямоугольного треугольника $HN_2N'_2$.

Найдем последовательно значения наименьшего расстояния c , как функцию зазора a между выгрузным каналом и дном кормушки для обоих случаев его варьирования.

$$a = a_1 \text{ при } 0 \leq a_1 \leq CM :$$

$$c_1 = a \cos \alpha_{np} ; \quad (14)$$

$$a = a_2 \text{ при } CM < a_2 < a_{np} :$$

$$c_2 = \sqrt{(N'_2 N_2)^2 + (N_2 H)^2} \quad (15)$$

где

$$N'_2 N_2 = a \cos \alpha_{np} , \quad (16)$$

$$N'_2 H = N_2 C - CH = a \sin \alpha_{np} - \frac{r_6}{\cos \alpha_{np}} . \quad (17)$$

Тогда

$$c_2 = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha_{np} + \left(a \sin \alpha_{np} - \frac{r_6}{\cos \alpha_{np}} \right)^2} .$$

В итоге

$$c_2 = \sqrt{a^2 - 2ar_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{np} + \frac{r_6^2}{\cos^2 \alpha_{np}}} . \quad (18)$$

Максимальное значение расстояния c определится при подстановке уравнения (12) в уравнение (18):

$$c_{\max} = \sqrt{4\operatorname{tg}^2 \alpha_{np} a_{np} - 4a \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{np} + \frac{1}{\cos^2 \alpha_{np}}} ,$$

$$c_{\max} = \frac{r_6}{\cos \alpha_{np}} , \quad (19)$$

что подтверждается графиком, представленным на рисунке 3.

Таким образом, зависимость величины наименьшего расстояния c между внутренней кромкой выгрузного кормопровода (точка В) и образующей застойного конуса от зазора a между выгрузным

кормопроводом и дном кормушки является совокупностью двух последовательных функций:

$$c = f(a) = \begin{cases} c_1 = a \cos \alpha_{np}, \text{ при } 0 \leq a \leq \frac{r_6}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}}; \\ c_2 = \sqrt{a^2 - 2ar_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{np} + \frac{r_6^2}{\cos^2 \alpha_{np}}}, \text{ при } \frac{r_6}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}} < a \leq a_{np}. \end{cases} \quad (20)$$

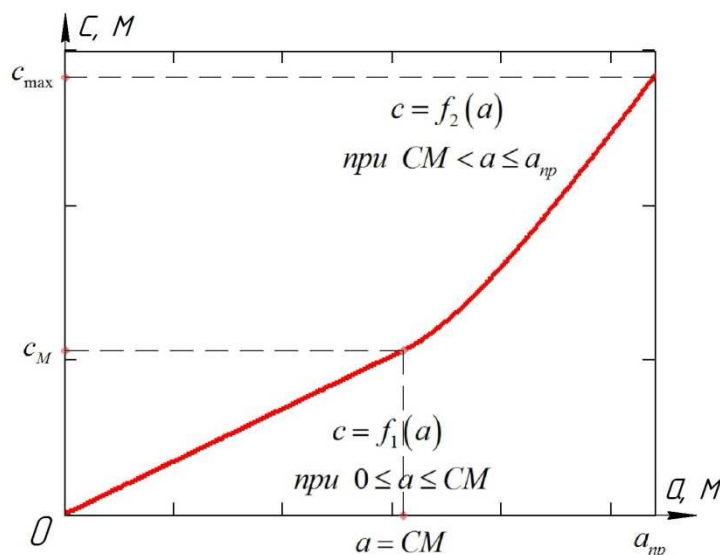


Рисунок 3 – График зависимости расстояния c от величины зазора a между выгрузным кормопроводом и дном кормушки

Из анализа графика (рисунок 3) функции (20) видно, что при положении кромки выгрузного канала в диапазоне между нулевым значением (выгрузной канал полностью закрыт) и характерной точкой M , расстояние c находится в линейной зависимости от величины зазора a . При дальнейшем увеличении зазора a до его предельного значения a_{np} зависимость $c = f(a)$ также можно принять линейной, но уже с большей интенсивностью.

Теоретически возможный расход комбикорма при его истечении из бункерной кормушки зависит от средней скорости движения частиц корма в выгрузном окне и пропорционален его площади:

$$Q = vS_{e.o.}, \quad (21)$$

где v – средняя скорость свободного истечения частиц корма из выгрузного окна.

Для определения средней скорости полагаем, что она численно равна скорости истечения корма из полости бункера кормушки [3],

$$v = \left(r_e + \frac{h_0}{\operatorname{tg} \alpha_{np}} \right) \sqrt{\frac{2A}{\left(r_e + \frac{h_0}{\operatorname{tg} \alpha_{np}} \right)^4 - r_e^4}}; \quad (22)$$

$S_{e.o.}$ - площадь выгрузного окна, зависящая от величины зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки,

$$S_{e.o.} = f(a). \quad (23)$$

Рассмотрим режим, при котором величина зазора a между выгрузным кормопроводом и дном кормушки имеет значение, при котором кратчайшее расстояние c_1 между кормопроводом и застойным конусом является перпендикуляром к боковой поверхности этого конуса (Рисунок 4). Из приведенной схемы видно, что в данном режиме выгрузное окно имеет форму боковой поверхности усеченного конуса.

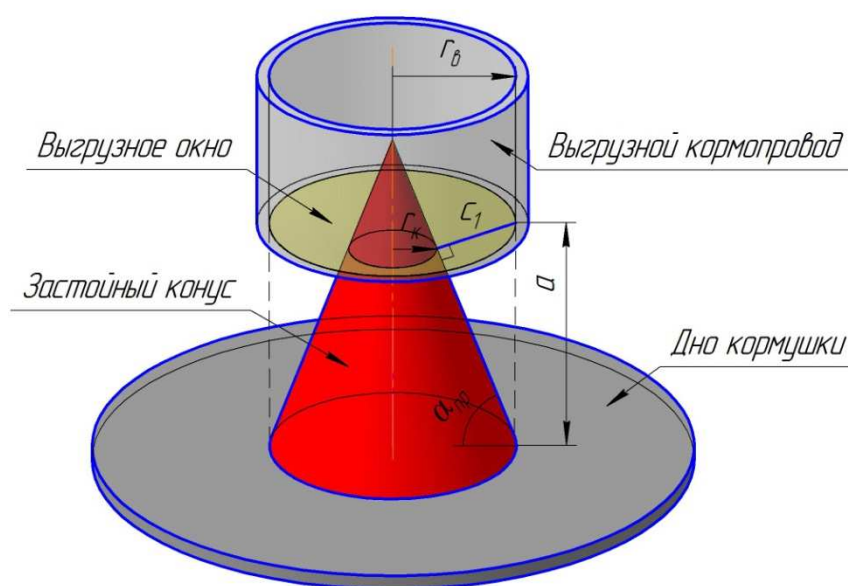


Рисунок 4 – К определению площади выгрузного окна ($c=c_1$)

Площадь боковой поверхности усеченного конуса определяется по общеизвестной формуле [4], которая применительно к условиям данной задачи имеет вид:

$$S_{\text{б.о.}} = \pi(r_{\text{в}} + r_{\text{к}})c_1, \quad (24)$$

где $r_{\text{к}}$ - радиус кольца выгрузного окна, описывающей застойный конус.

Значение этого радиуса зависит от величины зазора a и определяется по формуле:

$$r_{\text{к}} = r_{\text{в}} - a \sin \alpha_{\text{нп}} \cos \alpha_{\text{нп}}. \quad (25)$$

Тогда площадь выгрузного окна с учетом уравнений (25) и (14) составит:

$$S_{\text{в.о.1}} = \pi(2r_{\text{в}} - a \sin \alpha_{\text{нп}} \cos \alpha_{\text{нп}})a \cos \alpha_{\text{нп}}. \quad (26)$$

Далее рассмотрим режим, при котором величина зазора a между выгрузным кормопроводом и дном кормушки имеет кратчайшее расстояние c_2 между кормопроводом и застойным конусом и определяется отрезком между внутренней кромкой выгрузного кормопровода и вершиной застойного конуса (Рисунок 5).

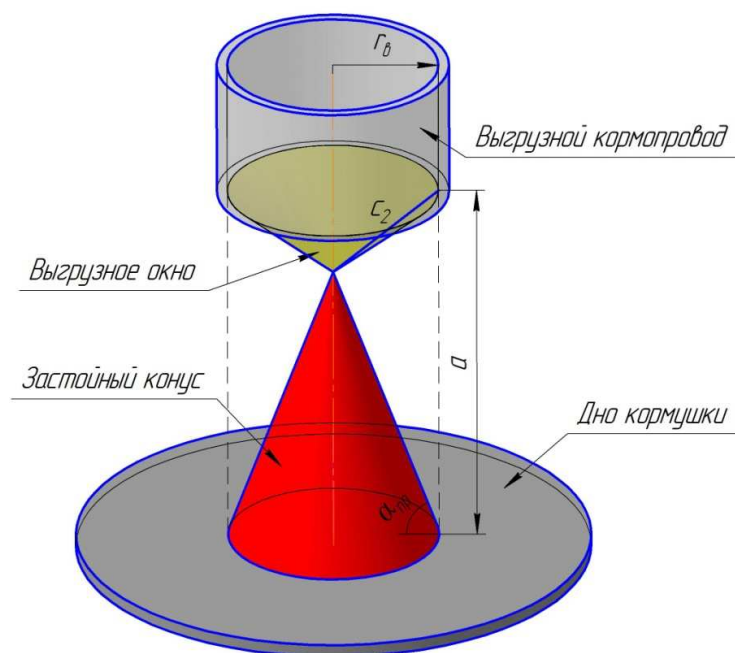


Рисунок 5 – К определению площади выгрузного окна ($c = c_2$)

В этом режиме выгрузное окно имеет форму конуса и его площадь с учетом уравнения (18) определяется выражением

$$S_{в.о.2} = \pi r_0 \sqrt{a^2 - 2ar_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{np} + \frac{r_0^2}{\cos^2 \alpha_{np}}} . \quad (27)$$

Тогда функция площади выгрузного окна в зависимости от зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки определится совокупностью последовательных функций

$$S_{в.о.} = \begin{cases} \pi(2r_0 - a \sin \alpha_{np} \cos \alpha_{np}) a \cos \alpha_{np}, \text{ при } 0 \leq a_1 \leq \frac{r_0}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}}; \\ \pi r_0 \sqrt{a^2 - 2ar_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{np} + \frac{r_0^2}{\cos^2 \alpha_{np}}}, \text{ при } \frac{r_0}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}} < a_2 \leq a_{np}. \end{cases} \quad (28)$$

Теоретическая зависимость (21) расхода корма при его свободном истечении из бункера через выгрузное окно, с учетом уравнения (28) выражается графиком (Рисунок 6).

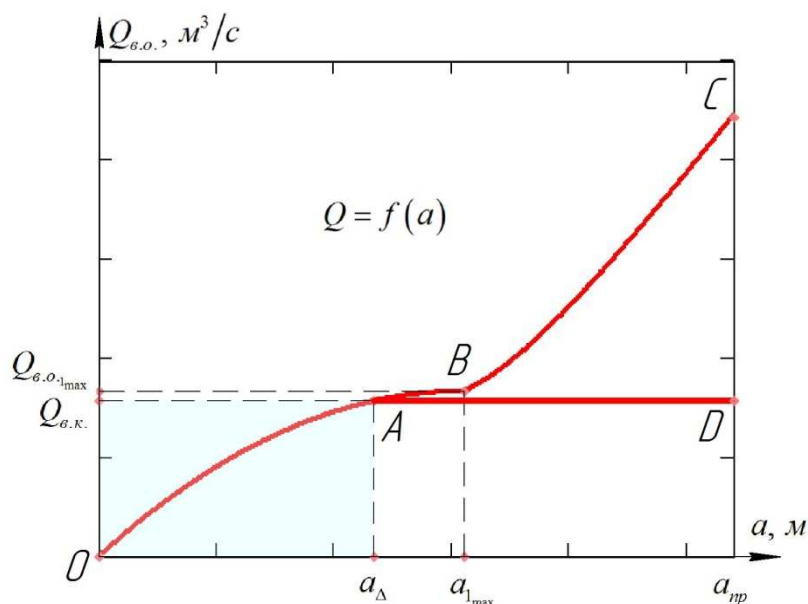


Рисунок 6 – График теоретической зависимости расхода корма при его свободном истечении из выгрузного окна от зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки

Как видно из графика, при увеличении зазора a в пределах от 0 до $a = a_{1max} \left(a_{1max} = \frac{r_{\epsilon}}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}} \right)$ расход комбикорма изменяется по логарифмической кривой OAB . При дальнейшем увеличении зазора a в пределах от $a = a_{1max}$ до $a = a_{np}$ расход растет по параболе BC .

Однако максимальная подача бункера ограничивается пропускной способностью выгрузного кормопровода, пропускной способностью выгрузного кормопровода, которая зависит от площади его сечения $S_{в.к.}$. Таким образом, превышение площади выгрузного окна более площади сечения выгрузного кормопровода не приведет к увеличению подачи кормушки, а следовательно, является нецелесообразным. При этом для определения зависимости площади выгрузного окна от зазора между выгрузным каналом и дном кормушки достаточно использовать функцию

(26) в пределах $0 \leq a \leq a_{\Delta}$, где a_{Δ} - величина зазора a , соответствующая условию, когда площадь выгрузного окна $S_{в.к.}$:

$$S_{в.о.} = S_{в.к.} = \pi r_{\epsilon}^2. \quad (29)$$

График зависимости теоретического расхода комбикорма через выгрузное окно в зависимости от величины зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки, с учетом ограничения пропускной способности кормопровода, будет выражен кривой OAD .

Диапазон дозированной подачи корма в полость кормушки, соответствующий потребностям животных различной возрастной группы, конструктивно достигается подбором выгрузного кормопровода соответствующего радиуса, а технологически – путем регулирования зазора между кормопроводом и дном кормушки в пределах $0 \leq a \leq a_{\Delta}$.

Проанализируем функцию расхода корма при истечении на дно кормушки от величины зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки a и радиусом выгрузного кормопровода r_{ϵ} (Рисунок 7):

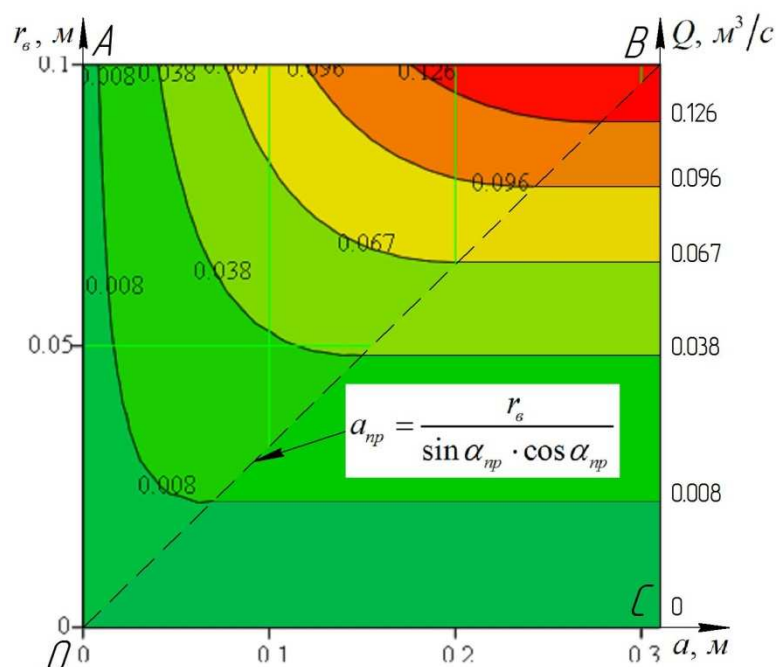


Рисунок 7 – Двумерная поверхность отклика функции расхода корма от зазора a и радиуса кормопровода r_{ϵ}

$$Q = f(a, r_g). \quad (30)$$

Значения функции, приведенные на графике, получены для корма, имеющего угол внутреннего трения $\varphi=50^\circ$.

Радиус выгрузного кормопровода варьировался в пределах $0 \leq r_g \leq 0,1\text{м}$. Значение предельного зазора a определялось в зависимости от принимаемого радиуса выгрузного кормопровода, определяемого уравнением (13). Приняв за абсциссу радиус кормопровода, а ординату – зазор a , получим прямую ОВ, являющуюся графическим отображением уравнения (13). Тогда действительной частью функции (30),

удовлетворяющей условию $0 \leq a \leq \frac{r_g}{\sin \alpha_{np} \cdot \cos \alpha_{np}}$, является поверхность

отклика этой функции, расположенная в области ОАВ. При превышении предельного зазора a увеличение расхода не произойдет. Увеличится лишь уровень корма внутри кормушки при постоянном расходе.

Построенная двумерная поверхность отклика функции расхода корма имеет важное прикладное значение. Она позволяет по известным физико-механическим свойствам корма подобрать соответствующие конструктивные параметры выгрузного кормопровода для обеспечения потребности животных определенной возрастной группы.

Выводы

1. Форма и геометрические параметры насыпи комбикорма на дне кормушки зависят от его физико-механических свойств и величины слоя корма в бункере кормушки.

2. Условие равновесия насыпи комбикорма на дне кормушки обеспечивается за счет компенсации давления слоя корма внутри бункера давлением собственного веса, образованного в ненагруженной части насыпи слоя пригрузки. Толщина слоя пригрузки пропорциональна высоте

слоя комбикорма в полости бункера и не зависит от зазора a между выгрузным кормопроводом и дном кормушки.

3. Распределение выгружаемого корма происходит по всей плоскости дна кормушки. При этом в центре, соосно с осью выгрузного кормопровода, образуется устойчивая застойная зона в форме конуса, выполняющего функции затвора и уменьшающего эффективную площадь выпускного канала.

4. Изменение подачи кормушки достигается путем регулирования зазора между выгрузным кормопроводом и ее дном в определенных пределах. Увеличение зазора свыше предельного значения приводит к увеличению уровня корма внутри кормушки при постоянном ее расходе.

5. Полученная зависимость расхода корма от скорости его истечения и зазора между выгрузным кормопроводом и дном кормушки позволяет по известным физико-механическим свойствам корма, подобрать соответствующие конструктивные параметры выгрузного кормопровода для обеспечения потребности животных определенной возрастной группы.

Литература

1. Ильин И.В. Научные исследования и разработки в области повышения сохранности животных и снижения потерь кормов. /И.В. Ильин, И.Ю. Игнаткин, М.Г. Курячий, А.А.Путан, А.В.Архипцев, А.М. Бондарев// Internet: [www. agroproj.ru/articles/](http://www.agroproj.ru/articles/)
2. Коваленко В.П. Теория цепочно-дискового кормораздатчика. Монография. /В.П. Коваленко, Д.В. Корнеев. /Краснодар, КубГАУ, 2013. – 224 с.
3. Коваленко В.П. Закономерности разгрузки бункерной кормушки для свиней. / В.П. Коваленко, Д.В. Корнеев, В.М. Лабетиков // Сельский механизатор, 2015 – №2 – М.: с.30-32.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. // Издательство «Астрель» АСТ. – М.: 2006 г. – 991 с.

References

1. Il'in I.V. Nauchnye issledovaniya i razrabotki v oblasti povysheniya sohrannosti zhivotnyh i snizheniya poter' kormov. /I.V. Il'in, I.Ju. Ignatkin, M.G. Kurjachij, A.A.Putan, A.V.Arhipcev, A.M. Bondarev// Internet: [www. agroproj.ru/articles/](http://www.agroproj.ru/articles/)

2. Kovalenko V.P. Teorija ceporno-diskovogo kormorazdatchika. Monografija. /V.P. Kovalenko, D.V. Korneev. /Krasnodar, KubGAU, 2013. – 224 s.
3. Kovalenko V.P. Zakonomernosti razgruzki bunkernoj kormushki dlja svinej. / V.P. Kovalenko, D.V, Korneev, V.M. Labetikov // Sel'skij mehanizator, 2015 – №2 – M.: s.30-32.
4. Vygodskij M.Ja. Spravochnik po vysshej matematike. // Izdatel'stvo «Astrel' » AST. – M.: 2006 g. – 991 s.