

### Литература

1. Добрава А.В., Ермолович А.Г. Цепные поступательные приводы обрабатывающих машин // Решетневские чтения: мат-лы XIV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем академика М. Ф. Решетнева: в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2010. – С. 216–217.
2. Проектирование цепных передач: справ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 336 с.
3. Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – 5-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк., 2005. – 496 с.



УДК 631:363(031)

Л.Г. Крючкова, С.М. Доценко, Г.В. Чередов

#### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ ОТ ПОЧВЫ ПРИ ИХ ПОДГОТОВКЕ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ

*В статье приведена технологическая схема подготовки корнеплодов к скармливанию животным с помощью разработанной линии и технических средств, входящих в её состав. Обоснован способ очистки корнеплодов сорта кузукику с помощью V-образного рабочего органа. По результатам экспериментальных исследований получены модели оценки процесса очистки корнеплодов, на основании которых определены оптимальные значения параметров линии, а также технических средств, осуществляющих подачу корнеплодов на измельчение и далее на приготовление кормовых смесей.*

**Ключевые слова:** кормовые продукты, корнеплоды, питатель, способ очистки, очиститель, измельчитель, параметры.

L.G. Kryuchkova, S.M. Dotsenko, G.V. Cheredov

#### THE SUBSTANTIATION OF THE PROCESS PARAMETER OF THE ROOT CROP CLEANING FROM SOIL FOR THE ANIMAL FEEDING PREPARATION

*The technological scheme of the root crop preparation for animal feeding by means of the developed line and technical means included into its structure is given in the article. The root crop cleaning method for the "Kuuziku" sort by means of V-shaped working body is substantiated. According to experimental research results the models of the root crop process assessment are received; the line parameter optimum values and also the technical means carrying out the root crop giving for crushing and further fodder mix preparation are received.*

**Key words:** fodder products, root crops, feeder, cleaning method, cleaner, crushing machine, parameters.

---

**Введение.** Важнейшими источниками углеводов, витаминов и минеральных веществ для свиней являются корнеклубнеплоды. Они отличаются хорошими вкусовыми качествами, охотно поедаются животными, обладают диетическими свойствами и представляют особую кормовую ценность для свиней [1]. Однако при подготовке к скармливанию их необходимо подвергать мойке, что при реализации существующих проектных решений связано с высокими затратами труда и средств [2, 4].

**Цель исследований.** Обоснование параметров процесса очистки корнеплодов от почвы при их подготовке к скармливанию животным.

**Задачи исследований:**

1. На основании теоретического анализа установить основные функциональные зависимости, характеризующие процесс очистки корнеплодов от почвенных примесей.

2. На основании полученных экспериментальных исследований математических моделей обосновать оптимальные параметры процесса очистки корнеплодов.

3. Разработать рациональную конструктивно-технологическую схему линии приготовления и раздачи кормовых смесей для свиноводческих ферм.

Авторами статьи разработан процесс отделения комков почвы, содержащихся в исходном ворохе угледовистого сырья, путём их разрушения в V-образном рабочем органе устройства [3].

В основу процесса отделения комков почвы от корнеплодов с помощью V-образного рабочего органа (рис.1) положен принцип последовательного разрушения комков при их одновременном поступательном и вращательном (вокруг своей оси) движении. При этом комки почвы и корнеплоды в рабочем зазоре V-образного рабочего органа расположены попарно, в зависимости от их размера (диаметра) [2].

При работе устройства комки почвы и корнеплоды движутся по удлинённой циклоиде – трохоиде, что обеспечивается движением прутковых полотен 2 элеваторов в противоположных направлениях, с различной линейной скоростью движения. Для обеспечения нормальной работы устройства необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$\lambda = \frac{v_2}{v_1} > 1, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – показатель кинематического режима;  $v_2$  – скорость движения полотна элеватора в прямом направлении, м/с;  $v_1$  – скорость движения полотна элеватора в обратном направлении, м/с.

Согласно технологическому процессу работы устройства, ворох (корнеплоды и комки почвы) движется в V-образном зазоре рабочего органа потоком, площадь поперечного сечения которого равна

$$F = \frac{1}{2} B + S \cdot \sum_{i=1}^n l_i, \quad (2)$$

где  $B, S$  – расстояние между прутковыми элеваторами соответственно в верхней и нижней части устройства, м;  $n$  – количество фракций;  $l_i$  – максимальная длина корней в каждой из фракций, м.

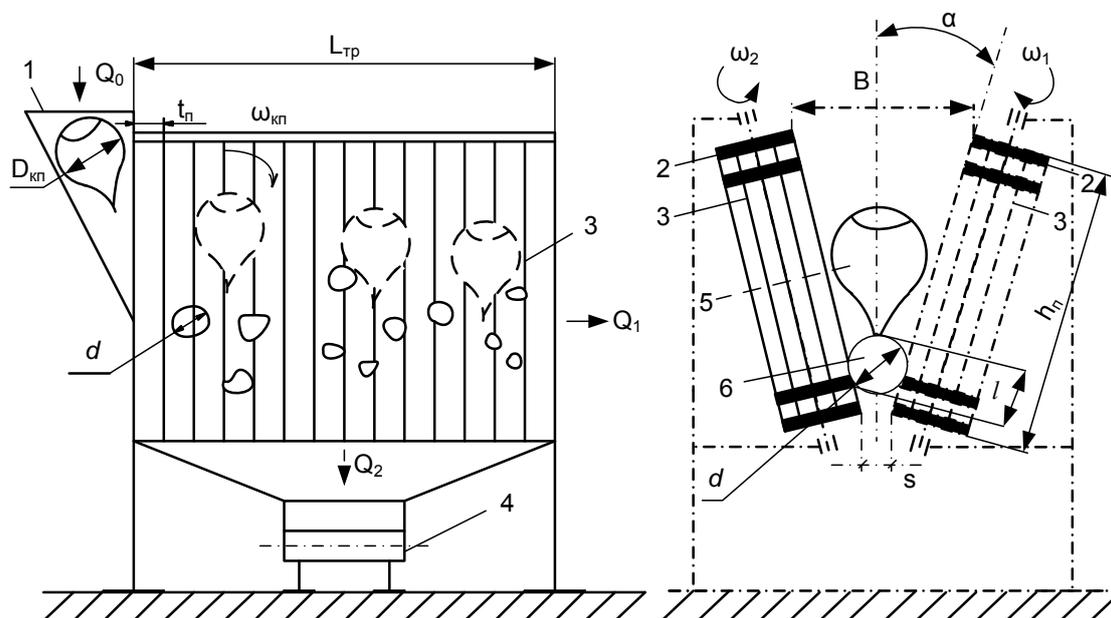


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема очистителя с V-образным рабочим органом: 1 – загрузочный бункер; 2 – прутковые полотна; 3 – прутки; 4 – транспортёр для примесей; 5 – кормушки; 6 – комок почвы

При этом скорость движения вороха определили, приняв комок почвы за тело, поперечное сечение которого представляет эллипс (рис.2), а контур описывается уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (3)$$

где  $a, b$  – полуоси эллипса (размерные характеристики комка почвы).

При движении комка почвы в V-образном зазоре рабочего органа он совершает дополнительное перемещение в вертикальной плоскости, что связано с изменением радиуса-вектора  $\rho$ , величина которого определяется из выражения:

$$\rho = \frac{a^2 \cdot b^2}{a^2 - c^2 \cdot \cos^2 \beta} \quad (4)$$

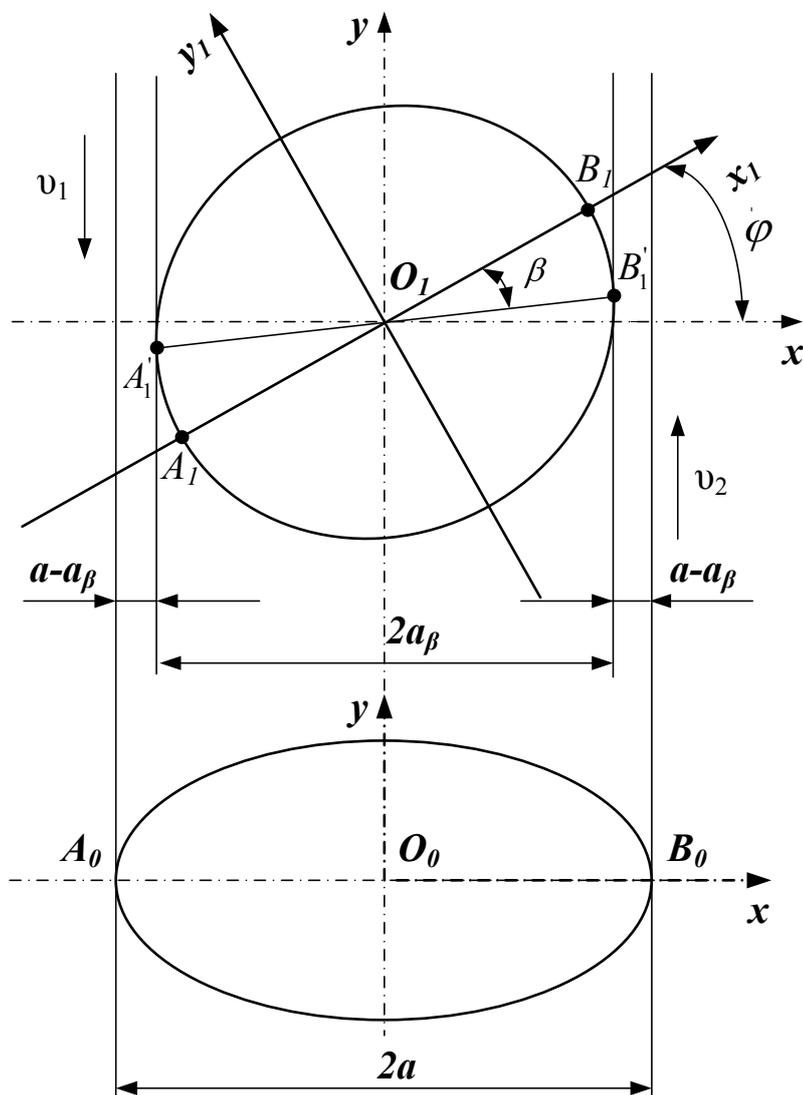


Рис. 2. Схема к анализу процесса перемещения комка почвы в V-образном зазоре рабочего органа очистителя

Продольную скорость комка  $v_{01}$  определили с учётом его поперечного перемещения со скоростью  $v_{x2}$  (рис. 3) как

$$v_{01} = v_2 - v_{x2} \cdot \operatorname{ctg} \theta - \beta \quad (5)$$

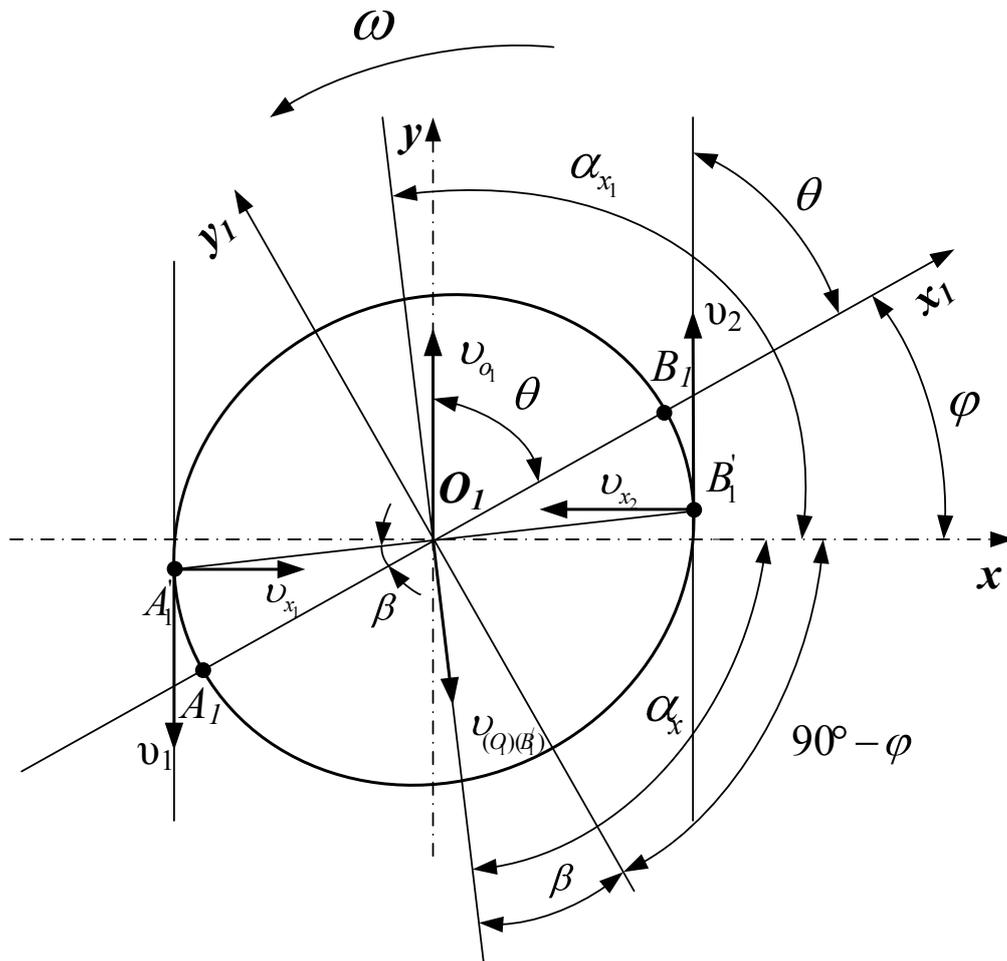


Рис. 3. Схема к определению угловой скорости вращения комка почвы

Анализ поперечного движения комка почвы показал, что его поперечная скорость  $v_{x2}$  зависит от размерных характеристик, а также скоростей движения полотен транспортёров  $v_1$  и  $v_2$ , и определяется зависимостью

$$v_{x2} = \frac{a}{2 \cdot c^2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{a^4 \cdot \sin^2 \beta + b^4 \cdot \cos^2 \beta}{a^2 - c^2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot v_1 + v_2 \quad (6)$$

Подставляя выражение (6) в выражение (5), с учётом условия (1) получили формулу для определения осевой скорости движения комка почвы

$$v_{O1} = v_1 \cdot \lambda - \frac{a}{2 \cdot c^2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{a^4 \cdot \sin^2 \beta + b^4 \cdot \cos^2 \beta}{a^2 - c^2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot \operatorname{ctg} \theta - \beta \cdot 1 + \lambda \quad (7)$$

При этом угловая скорость вращения комка почвы, с учётом приведённых на рисунке 3 параметров, равна

$$\omega = \frac{a^4 \cdot \sin^2 \beta + b^4 \cdot \cos^2 \beta \cdot v_1 + v_2}{b \cdot c^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \arctg\left(-\frac{b^2}{a^2} \cdot \cos \beta\right) + \beta} \quad (8)$$

С учётом выражений (2) и (7) получена формула для определения пропускной способности рабочего органа очистителя

$$Q_y = \frac{1}{2} \cdot B + S \sum_{i=1}^n l_i \cdot \rho_\epsilon \cdot \psi \cdot v_1 \cdot \left[ \lambda - \frac{a}{2 \cdot c^2 \cdot \cos \beta} \times \right. \\ \left. \times \frac{a^4 \cdot \sin^2 \beta + b^4 \cdot \cos^2 \beta}{a^2 - c^2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot \operatorname{ctg} \theta - \beta \cdot 1 + \lambda \right], \quad (9)$$

где  $\rho_\epsilon$  – плотность вороха, кг/м<sup>3</sup>;  $\psi$  – коэффициент заполнения межтранспортёрного пространства.

Производительность сепарирующего устройства по выделенной части корнеплодов из вороха  $Q_1$  определится как

$$Q_1 = Q_y - Q_y \cdot p_1, \quad (10)$$

где  $p_1$  – массовая доля почвы в ворохе.

Мощность, затрачиваемая на процесс разрушения комков почвы, равна

$$N = \tau_{пред} \cdot A + \frac{f \cdot P}{\sin \alpha} \cdot v_{01}, \quad (11)$$

где  $\tau_{пред}$  – предельное напряжение сдвига почвы, Па;  $A$  – площадь почвы, м<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент трения;

$P$  – масса комка, кг.

Количество комков почвы и корнеплодов  $K$  в рабочем зазоре V-образного рабочего органа зависит от его длины  $L_{тр}$  и определяется как

$$K = \frac{L_{тр} \cdot h_{\Pi} \cdot \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n l_i \cdot \sum_{i=1}^n d_i}, \quad (12)$$

где  $h_{\Pi}$  – ширина полотна транспортёра, м;  $L_{тр}$  – длина транспортёра, м;  $l_i$  и  $d_i$  – средняя длина и диаметр комка, м.

В конечном виде имеем

$$N = K \cdot \frac{f \cdot P}{\sin \alpha} + A \cdot h \cdot \rho_{\Pi} \cdot \sin \alpha_N \cdot \omega_N^n + \omega_N^{\tau} + \omega_N^z \cdot \cos \alpha_N, \quad (13)$$

где  $h$  – толщина отделённого слоя почвы, м;  $\rho_{\Pi}$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega_N^n, \omega_N^{\tau}, \omega_N^z$  – угловые скорости вращения комка почвы в соответствующих плоскостях.

Продолжительность разрушения комка почвы  $t_p$  находится из условия  $t_p \leq \frac{L_{mp}}{v_{01}}$

$$t_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{\kappa} \cdot R + \sum_{i=1}^n R_i \cdot \frac{h_{сд}}{2 \cdot \pi}}{S \cdot v_1 \cdot \left[ \lambda - \frac{a}{2 \cdot c^2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{a^4 \cdot \sin^2 \beta + b^4 \cdot \cos^2 \beta}{a^2 - c^2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot \operatorname{ctg} \theta - \beta \cdot 1 + \lambda \right]}, \quad (14)$$

где  $R$  и  $R_i$  – соответственно начальный и текущий радиусы комка почвы после отделения с него слоя почвы размером  $h_{сл}$ , м;  $D_k$  – наибольший диаметр комка почвы, м;  $n$  – число оборотов комка почвы, обеспечивающее ему размер для выхода через нижний зазор размером  $S$  транспортёрного рабочего органа.

**Результаты исследований.** При экспериментальном обосновании параметров данного процесса, на основании априорного ранжирования, выделены основные факторы, оказывающие существенное влияние на степень очистки исходного вороха корнеплодов кузику  $Y_1(\delta_3, \%)$ , и удельные энергозатраты  $- Y_2(N_{y\partial}, \frac{кВт\cdotч}{м})$ .

К таким факторам отнесены:

- $x_1 L_{mp}$  – длина пруткового полотна транспортёра, м;
- $x_2 \lambda$  – показатель кинематического режима очистителя;
- $x_3 \alpha, град$  – угол наклона полотен транспортёра друг к другу, град.

Таким образом, в конечном итоге необходимо установить следующие две функциональные зависимости в их общем виде:

$$Y_1 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min; Y_2 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min;$$

$$\delta_3 = f(L_{mp}; \lambda; \alpha) \rightarrow \min; N_{y\partial} = f(L_{mp}; \lambda; \alpha) \rightarrow \min.$$

Обе зависимости исследовали на  $\min$ , так как степень очистки  $\delta_3 \rightarrow 0$ , а энергоёмкость  $N_{y\partial} = \frac{N_0}{Q_0} \rightarrow \min$ .

Для данных зависимостей определены коэффициенты предположенных математических моделей методом шагового анализа.

Расчёт дисперсий откликов  $Y_1$  и  $Y_2$ , а также проверка их однородности показали, что их дисперсии однородны, а дисперсии параллельных опытов сравнимы между собой.

Полученные результаты позволяют представить полученные модели в их раскодированном виде:

$$\delta_3 = 82,166 - 35,863 \cdot L_{mp} - 56,199 \cdot \lambda_0 - 0,370 \cdot \alpha + 10,206 \cdot L_{mp}^2 + 18,144 \cdot \lambda_0^2 + 0,006 \cdot \alpha^2 \rightarrow \min. \quad (15)$$

$$N_{y\partial} = 2,710 - 0,691 \cdot L_{mp} - 1,827 \cdot \lambda_0 + 0,0008 \cdot \alpha - 0,011 \cdot L_{mp} \cdot \alpha + 0,321 \cdot L_{mp}^2 + 0,609 \cdot \lambda_0^2 + 0,0003 \cdot \alpha^2 \rightarrow \min. \quad (16)$$

На основании проведённого анализа установлено, что оптимальными значениями параметров процесса очистки с помощью предложенного устройства являются:

- длина полотна транспортёра  $L_{mp} = 1,47 - 1,76$  м;
  - показатель кинематического режима  $\lambda_0 = 1,5 - 1,55$ ;
  - угол установки полотен транспортёров  $\alpha = 23 - 30^\circ$  при  $v_1 = 0,4$  м/с,  $\delta_3 = 1,6$  %
- и  $N_{y\partial} = 0,83 \frac{кВт\cdotч}{м}$ ,  $v_2 = 0,6 - 0,62$  м/с.

Данное устройство включено в состав технологической линии приготовления кормовых смесей свиньям в соответствии с рисунками 4 и 5.

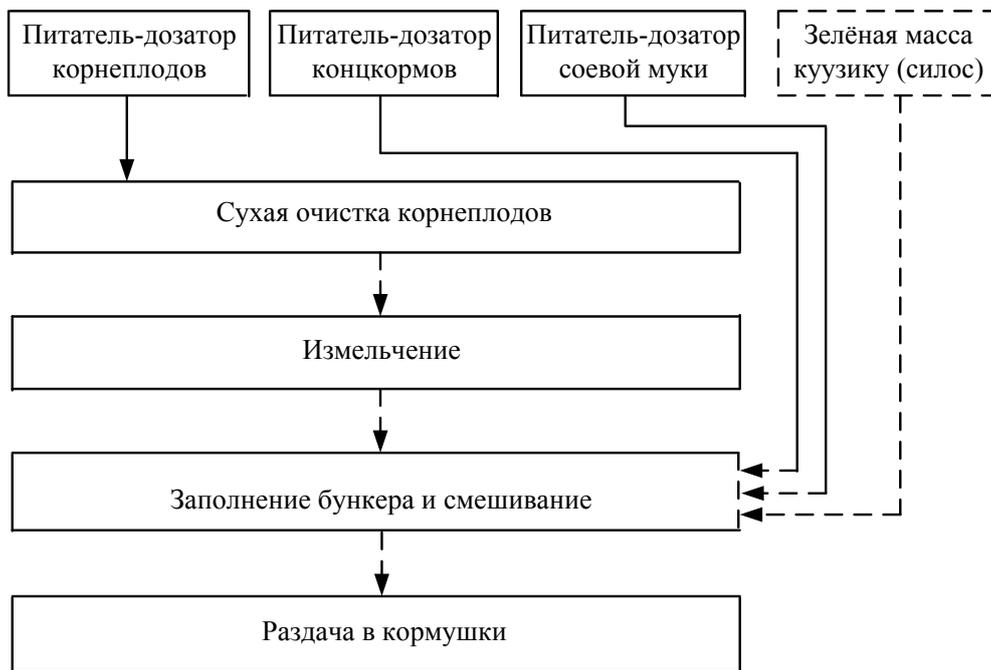


Рис. 4. Технологическая схема приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей свиньям

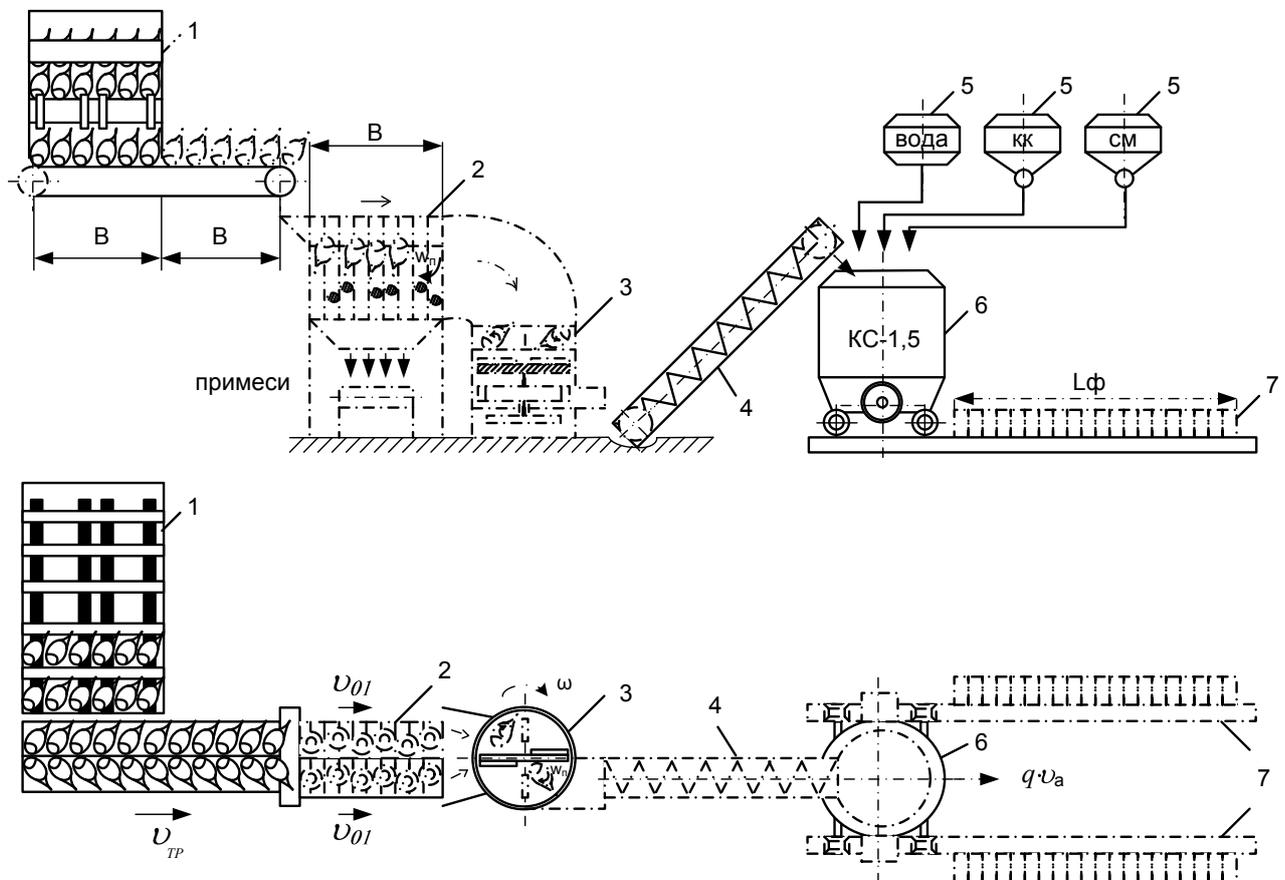


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема линии приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей свиньям: 1 – питатель; 2 – очиститель; 3 – измельчитель; 4 – загрузочный транспортёр; 5 – питатели-дозаторы; 6 – раздатчик-смеситель; 7 – кормушки

### Выводы

1. Теоретически и экспериментально обоснованы оптимальные значения параметров устройства для очистки корнеплодов от примесей, что позволило использовать его в технологической линии приготовления полнорационных кормовых смесей свиньям.

2. Определена эффективность предлагаемых технологических и технических решений, обусловленная возможностью исключения из имеющихся проектных решений кормоцехов нерациональных схем обработки корнеплодов, связанных с необходимостью их мойки и дополнительными затратами на сантехническое обустройство зданий.

### Литература

1. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / *А.М. Венедиктов* [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 303 с.
2. *Крючкова Л.Г., Доценко С.М.* Обоснование параметров технических средств линии подготовки корнеплодов сорта кузуки к скармливанию животным // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 2. – С.116–121.
3. А.с. №1662399 РФ. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей / *С.М. Доценко* [и др.]. – № 4478350/15; заявл. 18.08.88; опубл. 15.07.1991, Бюл. № 26. – 4 с.
4. *Доценко С.М., Чередов Г.В.* Обоснование сепарирующе-сортирующего рабочего органа для картофелесортировальных пунктов // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию со дня рождения профессора В.Г. Кобы. – Т. 3. – Саратов: Изд-во Саратов. ГАУ, 2006. – С. 39–46.

