

## ДВИЖЕНИЕ ЗЕРНОВКИ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ПЛЮЩИЛКИ ЗЕРНА

***Ключевые слова:** двухступенчатое плющение, зерно, консервирование, плющёный корм, примеси, фракционирование, технология.*

***Аннотация.** Проведены теоретические исследования по обоснованию скорости движения зерновки в рабочей зоне первой ступени плющения. Разработана новая машина для получения плющёного корма – двухступенчатая мобильная плющилка сухого и влажного зерна. Установлено, что при скорости ввода зерновки в рабочую зону первой ступени плющения, равной по величине и направлению линейной скорости цилиндрической поверхности вальцов для плющения, наблюдается наибольшая пропускная способность первой ступени плющения.*

Патентные исследования по технологиям получения плющёного фуражного зерна, сухого и влажного, показывают, что наиболее перспективным способом приготовления данного вида корма является Финская технология плющения и консервирования влажного фуражного зерна и упаковки его в герметичный полиэтиленовый рукав, осуществляемая агрегатом «плющилка зерна с устр. внесения консерв. + упаковщик кормов в полиэт. рукав + трактор», а техническим средством для выполнения операций по переработке зернового материала – двухступенчатая мобильная плющилка зерна с устройством внесения консерванта в плющёное зерно [3, с. 1]. Конструкция вышеуказанной плющилки в настоящее время ещё недостаточно проработана и поэтому требует усовершенствования. Произведённые ранее рядом авторов исследования конструктивно-технологических параметров машин данного типа справедливы для одноступенчатых плющилок с двумя вальцами для плющения, а двухступенчатые плющилки зерна с тремя вальцами для плющения имеют свои конструктивные особенности и требуют дополнительного теоретического обоснования [1, с. 176–183; 2, с. 154–158].

Технологический процесс двухступенчатого плющения зерна в общем виде представляет из себя следующее (рис. 1).

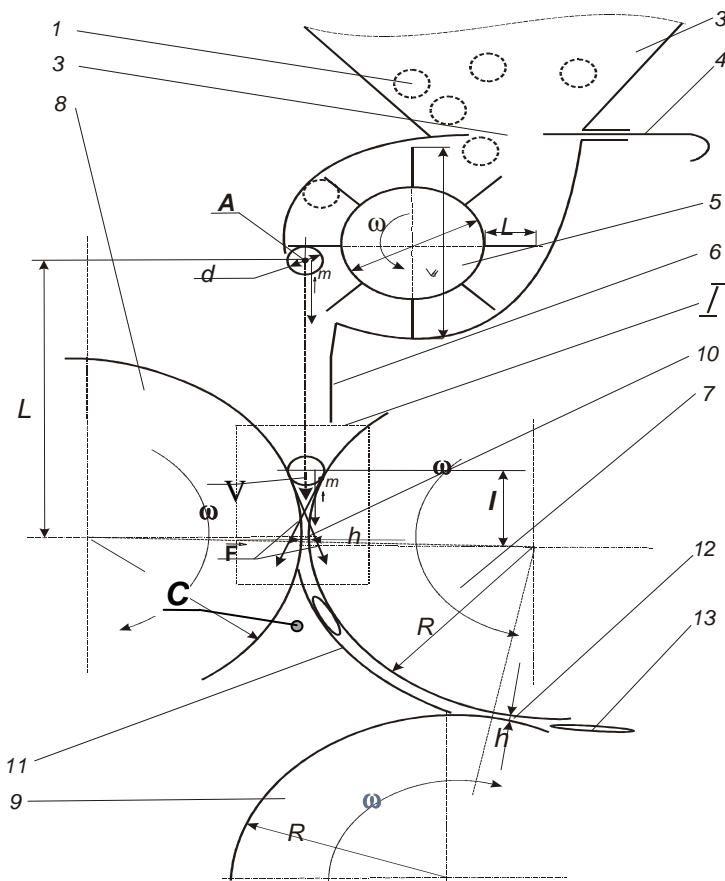


Рисунок 1 – Технологическая схема двухступенчатого плющения зерна тремя вальцами

Подлежащий измельчению зерновой материал (зерно) 1 загружается в питательный бункер 2 и при открытии окна 3 заслонкой 4 под действием силы тяжести попадает на питающий валец 5 с лопастями и подается им через подводящий канал 6 в межвальцовый зазор вальцов 7 и 8, где захватывается вальцами для плющения и проходит

первую ступень плющения (измельчения), затем выводится из межвальцового зазора и далее направляется криволинейной пластиной 11 в межвальцовый зазор верхнего основного 7 и нижнего 9 валцов на вторую ступень плющения. После второй ступени плющения плющёное зерно выходит из межвальцового зазора и выводится наружу.

Рассмотрим подробнее процессы, происходящие на первой ступени плющения зерна. Зерновка 1 (рис. 1), отрываясь от лопатки питающего вальца 5 (т. *A*), имеет некоторую начальную скорость  $V_1$ , движется вниз под действием силы тяжести, преодолевая сопротивление воздуха. Таким образом пролетев некоторое расстояние  $L$ , частица зерна (зерновка) попадает в рабочую зону плющения первой ступени (т. *B*) (рис. 2), образованную вальцами 7 и 8, имея скорость  $V_0$ .

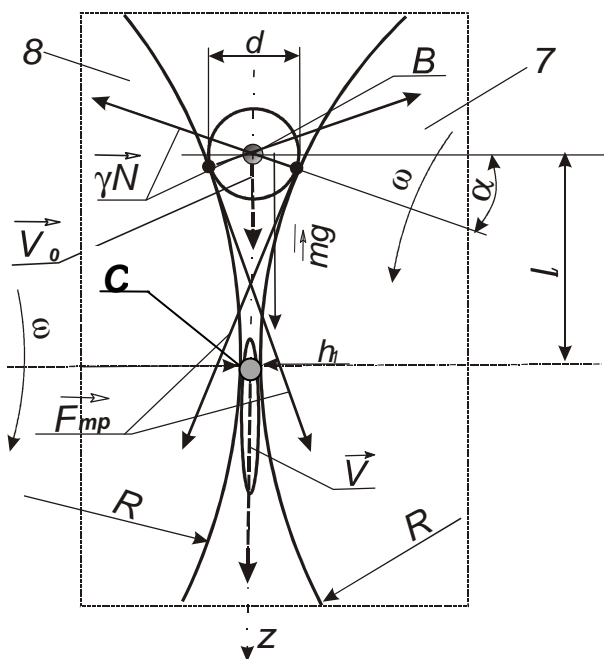


Рисунок 2 – Движение зерновки в рабочей зоне первой ступени плющения

Вальцы 7 и 8 вращаются навстречу друг другу со угловой скоростью  $\omega$ , рад/с, линейная скорость на их рабочих (цилиндрических)

поверхностях будет составлять  $\omega R$ , м/с. При этом скорость зерновки  $V_0$  (в точке  $B$ ) не должна превышать линейной скорости  $V = \omega R$  рабочих поверхностей валцов для плющения 7 и 8 (принимается ограничение:  $\omega R \geq V_0$ ), т. к. в противном случае произойдет заваливание зоны плющения поступающим зерном, что приведет к резкому ухудшению условия захвата зерна валцами, и в конечном итоге значительному снижению пропускной способности первой ступени плющения и, следовательно, всей плющилки.

Итак, зерновка захватывается валцами в точке  $B$  (условия захвата зерна валцами известны из предыдущих исследований), движется с проскальзыванием некоторое расстояние  $l = BC$  ( $BC$  – рис. 2 – рабочая зона первой ступени плющения) и ускоряется со скорости  $V_0$  (точка  $B$ ) до  $\omega R$  (точка  $C$ ) (движение в межвальцовом зазоре без проскальзывания). При прохождении расстояния  $BC$  зерно расплющивается с толщины  $d = S_0$  до  $h_1 = S$ , где  $h_1$  – величина межвальцового зазора первой ступени плющения. Очевидно, что чем меньше понадобится времени на прохождение зерновками расстояния  $l (BC)$  – рабочей зоны плющения первой ступени, тем больше зерна пройдет через неё и подвергнется плющению за некоторый промежуток времени (например, за 1 час) при условии непрерывной равномерной подачи зерна из питательного бункера 3, т.е. минимальное время прохождения рабочей зоны плющения первой ступени каждой зерновкой обеспечивает максимальную пропускную способность и, как следствие, производительность плющилки.

При движении с проскальзыванием в зоне плющения зерновки массой  $m$ , захваченной валцами, на неё действует сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила трения  $\vec{F}_{тр}$  (принимается допущение, что она постоянна), распорная сила  $\vec{P} = \vec{N}$ , где  $\vec{N}$  – сила, прижимающая зерновку к цилиндрической поверхности плющильных валцов.

Уравнение движения зерновки в общем виде будет иметь

вид:

$$\longrightarrow \quad \longrightarrow \quad \longrightarrow \quad \longrightarrow$$

$$mW = mg + F_{тр} + P \quad (1)$$

Процируем (1) на ось  $OZ$ , направленную вертикально вниз, и с учётом того, что диаметр вальца для плющения  $D_g = 2R$  намного больше толщины зерновки  $d$ , поэтому величина угла  $\alpha \rightarrow 0$ , имеем следующее:

$$mW = mg + F_{mp}, \quad (2)$$

где

$$F_{mp} = Nf = Pf, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения зерновки о цилиндрическую поверхность вальца для плющения.

Величину  $P$  – среднего значения удельного распорного усилия – можно вычислить по соотношениям, предлагаемым А. М. Андриановым [1, с. 176–183, 2, с. 154–158]:

$$P = k \frac{2 \cdot B \cdot l \cdot S_H}{(S_0 - S) \cdot (\delta - 1)} \cdot \left[ \left( \frac{S_H}{S} \right)^\delta - 1 \right], \quad (4)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент;  $B$  – ширина вальцов;  $\delta$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\delta = 2 \cdot \mu \cdot \frac{l}{S_0 - S}, \quad (5)$$

где  $\mu = f$  – коэффициент трения зерна о металл вальца.

Принято, что длина рабочей зоны  $l$  у плющилки :

$$l = \sqrt{R(S_0 - S)}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус вальцов;  $S_0 = d$  – начальная толщина зерновки;  $S = h_l$  – толщина зерновки после плющения, а толщина зерновки в нейтральном сечении равна

$$S_H = \sqrt{S_0 S} \quad (7)$$

Выражение (2) запишем в следующем виде:

$$m dV : dt = mg + F_{mp}, \quad (8)$$

$$dV : dt = g + F_{mp}/m, \quad (9)$$

$$V = t F_{mp}/m + gt + V_0. \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет определить мгновенную скорость зерновки в любой момент времени  $t$  после захвата её вальцами. Интегрируя (10), получаем:

$$l = t^2 F_{mp} \cdot m + gt^2 : 2 + V_0 t + l_0 = t^2 (F_{mp} \cdot m + g : 2) + V_0 t + l_0, \quad (11)$$

Если исходить из того, что  $(F_{mp} \cdot m + g : 2)$  в выражении (11) – величина постоянная для какой-либо партии зерна, предназначенного для плющения, и определённой конструкции плющилки, настроенной

на площадь данного зерна, то  $(F_{mp}:m + g:2)$  – для заменяем на  $A$ , и (11) запишется следующим образом:

$$l = A t^2 + V_0 t + l_0 \quad (12)$$

С учётом ограничений:

$0 \leq V_0 \leq V = \omega R$  и  $l_0 = 0$ ,  $l_{max} \leq \sqrt{R(S_0 - S)}$ ,  $(F_{mp}:m + g:2) \geq 0$ , а отсчёт времени  $t$  и пути  $l$ , пройденного зерновкой, начинаются в точке  $B$  захвата её вальцами, графическую зависимость  $l$  от  $V_0$  и  $t$  можно выразить следующим образом (рис. 3).

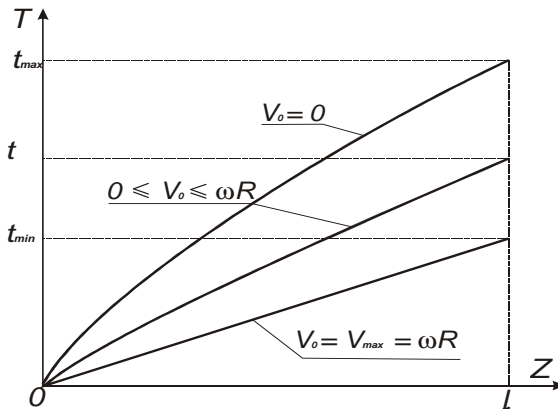


Рисунок 3 – Движение зерновки в рабочей зоне первой ступени плющения в зависимости от скорости  $V_0$  её ввода в рабочую зону

Анализ графических зависимостей (рис. 3) показывает, что при скорости  $V_0$  ввода зерновки в рабочую зону первой ступени плющения:  $V_0 = V_{max} = \omega R$  требуется наименьшее время для прохождения зерновки рабочей зоны первой ступени плющения.

Таким образом, результат проведённых теоретических исследований по обоснованию движения зерновки в рабочей зоне плющения двухступенчатой плющилки зерна показывает, что при скорости  $V_0$  (скорости ввода зерновки в рабочую зону первой ступени плющения):  $V_0 = V_{max} = \omega R$ , где  $\omega R$  – линейная скорость на рабочих поверхностях вальцов для плющения радиусом  $R$ , вращающихся навстречу друг другу со скоростью  $\omega$ , требуется наименьшее время для прохождения зер-

новкой рабочей зоны первой ступени плющения, следовательно, при данной скорости ввода наблюдается наибольшая пропускная способность первой ступени плющения двухступенчатой плющилки зерна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов А. М. Распорные усилия при плющении зерна валками // Совершенствование технологий и технических средств уборки, обработки и переработки зерна: Сборник научных трудов Воронежского СХИ им. К. Д. Глинки. Воронеж, 1990. С. 176–183.

2. Андрианов А. М., Елисеев В. А. Влияние окружной скорости и диаметра валков на производительность и удельный расход энергии зерноплющилки // Механизация сельскохозяйственного производства: Записки Воронежского СХИ им. К. Д. Глинки. Воронеж, 1972. Т. 53. С. 154–158.

3. Пат. 2417778 Российской Федерации, МПК В02С 4/06. Способ плющения фуражного зерна и устройства для его осуществления / Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А., Сычугов Ю. В.; заявл. 01.04.2011; опубл. 10.03.2013. Бюл. № 7. 9 с.: ил.

## MOVEMENT OF GRAIN IN WORKING SPACE OF TWO-STEP GRAIN CRUSHER

**Key words:** *fractionating, crusher forage, two-step crushing, preserving technology, grain, admixture.*

**Annotation.** *The new machine for obtaining of crusher forage – two-step mobile crusher of dry and wet forage – was designed. Theoretical investigations were done for validation of speed of grain movement in working space of first step of crushing. It was determined that highest capacity of first step of crushing was at input speed of grain into working space equal to line speed of cylinder surface of rollers by magnitude and direction.*

---

**КАЗАКОВ ВЛАДИМИР АРКАДЬЕВИЧ** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии, Россия, Киров, (niish-sv@mail.ru).

**KAZAKOV VLADIMIR ARKADJEVICH** – candidate of technical sciences, senior researcher, North-East Agricultural Research Institute of Rosselkhozacademy, Russia, Kirov, (niish-sv@mail.ru).

---