

### 3. ПРИНЦИП РАБОТЫ РЕЖУЩИХ АППАРАТОВ

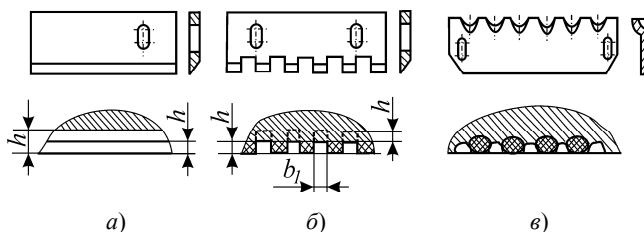
Ножи, применяемые в корнерезках, бывают следующих видов: с прямолинейным лезвием, с гребенчатым лезвием, с криволинейным лезвием или совочкообразные.

Плоский нож со сплошным лезвием (рис. 2.39, *a*) даёт стружку в виде широких ломтей толщиной  $h$ , зависящей от установки ножа относительно плоскости, диска или барабана, шириной  $b$ , равной ширине продукта, и длиной  $l$ , достигающей исходной длины частиц продукта. Такая форма и размеры стружки соответствуют требованиям кормления крупного рогатого скота.

Гребенчатый нож (рис. 2.39, *б*) отрезает стружку в виде узких полосок шириной  $b_1$ , равной ширине гребня, толщиной  $h$ , равной высоте установки, и длиной  $l$ , равной длине частиц продукта. Такая стружка соответствует требованиям кормления молодняка крупного рогатого скота и свиней. Гребенчатые ножи закрепляют на диске или барабане со смещением по длине один относительно другого на величину, равную ширине  $b_1$  гребня. При такой установке гребни первого ножа снимают стружку шириной  $b_1$  и толщиной  $h$ , а гребни второго ножа срезают остающиеся выступы.

Действие ножей корнерезок принято рассматривать как действие острых клиньев, перемещающихся в перерезаемом корме. В зависимости от расположения клина (перпендикулярно или под углом к направлению движения) различают скользящее и рубящее резание, которое наиболее распространено в существующих корнерезках.

В первый момент в соответствии с теорией В. П. Горячкина нож (клин) с углом заточки  $\alpha$  (рис. 2.40), внедряясь в материал, под действием силы  $P$  сжимает стружку на пути  $a$ .

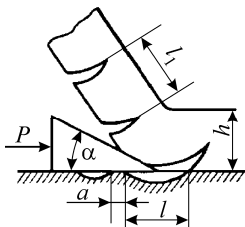


**Рис. 2.39. Типы ножей корнерезок:**

*a* – прямой нож со сплошным лезвием;

*б* – прямой нож с гребенчатым лезвием;

*в* – совочкообразный нож



**Рис. 2.40. Схема внедрения клина и образования стружки**

Исследованиями установлено, что линии скалывания элементов стружки опережают лезвие клина и сначала углубляются в толщу материала, а затем направляются вверх. Однако до поверхности разрыв не доходит и укорочения элемента стружки не наблюдается, т.е.  $l = l_1$ . Длина элементов стружки  $l$  увеличивается с увеличением толщины стружки  $h$  и угла заточки  $\alpha$  и почти не зависит от скорости резания и толщины лезвия ножа.

Путь уплотнения можно определить по формуле В. П. Горячкина:

$$a = \frac{h \cos \varphi \cos \left( \frac{\varphi - \alpha}{2} \right)}{2 \cos^3 \left( \frac{\varphi + \alpha}{2} \right)}, \quad (2.89)$$

где  $h$  – толщина стружки, м;  $\varphi = 35...40^\circ$  – угол трения материала о грани клина, град;  $\alpha$  – угол резания, град.

Усилия резания определяют на основе рациональной формулы В. П. Горячкина:

$$P = P_0 + P_d + P_v, \quad (2.90)$$

где  $P$  – общее сопротивление резанию, Н;  $P_0$  – сопротивление, зависящее от прочности материала, ширины стружки и толщины лезвия, Н;  $P_d$  – сопротивление, равное усилию деформации стружки, Н;  $P_v$  – сопротивление, равное усилию на отделение стружки и сообщение ей кинетической энергии, Н.

Составляющие общего сопротивления резанию определяют из выражений, предложенных Г. И. Новиковым:

$$P_0 = k_m b t^c \delta; \quad P_d = k_d h b; \quad P_v = 0,025 h b v^2, \quad (2.91)$$

где  $k_m$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала: для свёклы – 10,4; моркови – 7,5; картофеля – 6,5;  $b = 120...180$  мм – ширина стружки или длина ножа;  $t = 0,03...0,10$  мм – толщина лезвия ножа;  $c$  – показатель степени: для свёклы – 0,53; моркови – 0,5; картофеля – 0,55;  $\delta$  – коэффициент предела прочности или отношение пути  $a$  уплотнения к длине  $l$  элемента стружки;  $k_d = 1,5...2,0$  –

коэффициент деформации стружки;  $h$  – толщина стружки, м;  $v$  – скорость резания (ножа), м/с.

Усилие резания до начала внедрения ножа в материал равно нулю. По мере продвижения ножа оно достигает максимума и в момент скальвания падает до нуля, после чего процесс повторяется.

Совочкообразные ножи (рис. 2.40, в) отрезают стружку в виде узких полосок полуовального сечения. Высота и ширина стружки здесь зависят от размеров совочков и установки ножей, а длина равна длине частиц продукта. Качество работы совочкообразных ножей выше, чем гребенчатых, так как здесь лезвия и первого, и второго ножей только отрезают стружку, а не отрывают. К недостаткам их следует отнести сложность заточки.

Минимально допустимую частоту вращения крылача режущего аппарата дисковой корнерезки определяют из условия скорости подхода продукта к ножам. При движении корнеклубнеплодов вдоль лопасти на них действуют следующие силы (рис. 2.41): тяжести  $mg$ ; трения  $fmg$ , возникающая от действия силы тяжести при перемещении продукта по диску крылача; трения корнеплодов по лопасти  $2fm\omega v_0$ , возникающая от силы Кориолиса  $2m\omega v_0$ , и центробежная  $m\omega^2 R_p$ .

Перемещение продукта в направлении ножей возможно в том случае, если центробежная сила больше сил трения, т.е.

$$f_1 mg + 2f_2 m\omega v_0 \leq m\omega^2 R_p, \quad (2.92)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – коэффициенты трения корнеклубнеплодов соответственно по диску и по лопасти;  $m$  – масса материала, находящаяся в камере резания, кг;  $v_0$  – скорость перемещения продукта к ножам, м/с;  $R_p$  – радиус камеры резания, м.

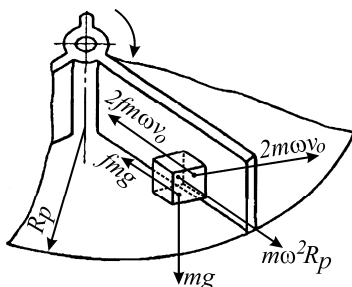


Рис. 2.41. Схема сил, действующих на корнеклубнеплоды, находящиеся на крылаче

При изготовлении дисков и лопастей из одного материала  $f_1 = f_2 = f$ .

На скорость перемещения продукта к ножам влияет толщина стружки  $h$ , число ножей  $z$ , частота вращения крыльча  $n$ . Её определяют по формуле

$$v_0 = hzn . \quad (2.93)$$

Подставив значение скорости  $v_0$  в неравенство (2.92) и выразив в нём угловую скорость через  $2\pi n$ , получим

$$fg \leq \pi^2 n^2 R_p - 2f\pi n hnz \quad \text{или} \quad fg \leq \pi n^2 (\pi R_p - fhz) . \quad (2.94)$$

Решая это выражение относительно  $n$ , найдём минимально допустимую частоту вращения диска:

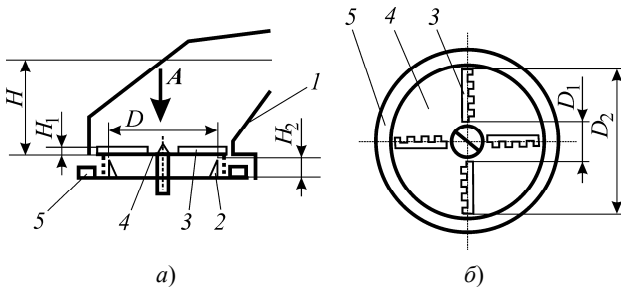
$$n = \sqrt{\frac{fg}{\pi(\pi R_p - fhz)}} . \quad (2.95)$$

Расчёт принято вести исходя из условий количества объёма продукта, отрезаемого рабочей частью за один полный оборот диска (рис. 2.42).

В общем виде для любого рода ножей производительность горизонтально-дисковых измельчителей определяется по формуле

$$Q = V_i n \rho , \quad (2.96)$$

где  $Q$  – производительность, кг/с;  $V_i$  – объём продукта, отрезаемого ножами за один оборот, м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения, с<sup>-1</sup>;  $\rho$  – объёмная масса продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $i$  – ступень измельчения.



**Рис. 2.42. Расчёт дискового измельчающего аппарата:**

$1$  – загрузочная воронка;  $2$  – вертикальный нож;  $3$  – горизонтальный нож;  
 $4$  – верхний диск;  $5$  – нижний диск с лопатками

Объём продукта  $V_1$  (м<sup>3</sup>), отрезаемого ножами за один оборот для первичной ступени измельчения:

$$V_1 = F_1 H_1 z_1 k_1 k_2, \quad (2.97)$$

где  $F_1$  – площадь, очерчиваемая ножом за один оборот вала, м<sup>2</sup>;  $H_1$  – толщина резки, м (см. рис. 2.42);  $z_1$  – количество ножей на первой ступени измельчения, шт.;  $k_1$  – коэффициент использования длины лезвия ножа,  $k_1 = 0,75 \dots 0,85$ ;  $k_2$  – конструктивный коэффициент использования ножей,  $k_2 = 0,8 \dots 0,9$ .

Для первой ступени измельчения площадь, очерчиваемая ножом за один оборот вала:

$$F_1 = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}, \quad (2.98)$$

где  $D_1$ ,  $D_2$  – диаметры до наружной и внутренней кромок ножей, м (см. рис. 2.42).

Объём продукта  $V_2$  (м<sup>3</sup>), отрезаемого ножами за один оборот для второй ступени измельчения:

$$V_2 = F_2 h_2 z_2 k_1 k_2, \quad (2.99)$$

где  $F_2$  – площадь, очерчиваемая ножом за один оборот вала, м<sup>2</sup>;  $h_2$  – толщина резки, м;  $z_2$  – количество ножей на второй ступени измельчения, шт.

Площадь  $F_2$ , очерчиваемая ножом за один оборот вала:

$$F_2 = \pi D H_2, \quad (2.100)$$

где  $D$  – диаметр камеры резания, м;  $H_2$  – высота вертикального ножа, м.

Мощность  $N$ , необходимая для привода дискового измельчителя, составляет

$$N = N_1 + N_2, \quad (2.101)$$

где  $N_1$  – мощность, необходимая для привода первой ступени измельчителя, Вт;  $N_2$  – мощность, необходимая для привода второй ступени измельчителя, Вт.

Мощность  $N_1$  расходуется на резание корнеплодов ( $N_{p1}$ ), на преодоление сил трения корнеплодов о диск ( $N_{тр1}$ ) и определяется по формуле

$$N_1 = \frac{N_{p1} + N_{тр1}}{\eta}, \quad (2.102)$$

где  $\eta = 0,95$  – механический КПД.

Мощность, затрачиваемая на резание корнеплодов, равна

$$N_{p1} = P_1 z_1 v k_1, \quad (2.103)$$

где  $P_1$  – сила резания, Н;  $v$  – скорость резания, м/с.

Сила резания равна

$$P_1 = q_0 L_n, \quad (2.104)$$

где  $q_0$  – удельное давление ножа на измельчаемый материал,  $q_0 = (1,5 \dots 2,0) \cdot 10^3$  Н/м;  $L_n$  – длина лезвия ножа, м.

Поскольку точка приложения силы резания  $P_1$  расположена на расстоянии  $2/3$  радиуса от центра ножевого диска, то скорость резания определяется по формуле  $v = 2\pi D_2 n / 3$ , м/с.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения корнеплодов о диск равна

$$N_{тр1} = \frac{2M_k g f D_2 n \beta}{3}, \quad (2.105)$$

где  $M_k$  – масса корнеплодов, постоянно находящихся в приёмном бункере измельчителя, кг;  $f = 0,6$  – коэффициент трения корнеплодов о диск;  $\beta = 0,3 \dots 0,4$  – коэффициент, учитывающий уменьшение силы нормального давления за счёт режущего и отталкивающего действия ножей.

Мощность  $N_2$ , затрачиваемую на второй ступени измельчителя, определяют по формуле

$$N_2 = N_{p2} + N_{тр2} + N_{тр3}, \quad (2.106)$$

где  $N_{p2}$  – мощность, затрачиваемая на резание предварительно измельчённого продукта, Вт;  $N_{тр2}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о диск второй ступени измельчителя, Вт;  $N_{тр3}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения продуктов о стенки корпуса, Вт.

Мощность  $N_{p2}$ , затрачиваемая на резание предварительно измельчённого продукта:

$$N_{p2} = q_0 L_2 z_2 \pi D_2 n k_0 k_1, \quad (2.107)$$

где  $L_2$  – длина нагруженного участка лезвия ножа, м;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки на ножи.

Мощность  $N_{\text{тр}2}$ , затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о диск аппарата вторичного измельчения, составляет около 10% мощности, расходуемой на резание:  $N_{\text{тр}2} = 0,1N_{\text{р}2}$ .

Мощность  $N_{\text{тр}3}$ , затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о стенки камеры измельчения на аппарате вторичного резания:

$$N_{\text{тр}3} = \frac{25,6\pi D_2 G g n f \beta}{2}, \quad (2.108)$$

где 25,6 – коэффициент, учитывающий характер взаимодействия измельчённых корнеплодов, находящихся в аппарате вторичного резания, с декой и стенками камеры измельчения.

Энергоёмкость процесса мойки и измельчения современных корнеклубнеочных машин составляет 1,5...2,0 кВт·ч/т.