

через все резисторы, что снижает нагрузку на каждую отдельно взятую группу нелинейных резисторов.

Главным преимуществом его является универсальность применения для защиты от низко- и высоковольтных импульсов напряжения.

#### Выводы

1. Существующие устройства защиты электропотребителей от импульсов и временных перенапряжений не могут в полной мере удовлетворить предъявляемым требованиям из-за различного времени их срабатывания, и рассеиваемой мощности, поэтому целесообразно использовать комбинированные способы защиты с применением 2-х и 3-х ступеней ограничения напряжения, выполненных на различных принципах действия.

2. Предложенное универсальное устройство на основе нелинейных резисторов и ограничительных диодов позволит осуществить защиту электрооборудования как от высоковольтных импульсов так и от перенапряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт: ГОСТ 13109-97.

2. Коммутационные перенапряжения в энергосистемах: учеб. пособ./ М.В. Костенко [ и др.] . – Ленингр. гос. техн. ун-т, 1990. – 101 с.

3. Таев, И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения/ И.С. Таев. – М.: Энергия, 1973. – 424 с.

4. Capacitive current switching – state of art.// Electra, 1994. – №155.

5. Устройство для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений: пат. № 6991 Респ. Беларусь, МПК9 Н02Н 9/04 / Д.И. Протосовицкой, Н.Е. Шевчик; заявитель Белор. гос. аграрн. техн. ун-т. – №и 20100582; заявл. 25.06. 2010; опубл. 28.02. 2011// Афіц. бюл./Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці.

УДК 631.363.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.03.2012

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛЬЦОВОЙ ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

В.А. Дайнеко, канд. техн. наук, доцент, Е.М. Прищепова, аспирантка (БГАТУ)

#### Аннотация

*В статье приведены результаты теоретических исследований производительности вальцовой плющилки-измельчителя зерна различных конструкций. По результатам исследований получены зависимости для расчета производительности плющилок-измельчителей при различных соотношениях скоростей и диаметров вальцов, межвальцевого зазора, а также наклона плоскости проходящей через оси вальцов к горизонтальной плоскости. Проанализированы пути повышения производительности плющилок-измельчителей зерна.*

*The results of theoretical investigations of roller crusher-grinder of grain of different designs are given here. According to the research the dependences for the calculation of performance of crusher-grinder with different ratios of velocities and diameters of the rollers, mezhvaltsevogo gap, as well as the slope of the plane passing through the axis of the roller to the horizontal plane were obtained. The ways of increasing productivity of crusher-grinders are analyzed.*

#### Введение

Корма в структуре себестоимости производства продукции животноводства составляют более 60%. От качества и подготовки их к скармливанию во многом зависит эффективность работы животноводческих ферм и комплексов. При подготовке к скармливанию фуражного зерна используется либо плющение влажного зерна с последующим его консервированием, либо измельчение сухого зерна. Как правило, эти операции выполняются соответствующим технологическим оборудованием, которое работает в различный период года и имеет невысокую загрузку по времени. Для увеличения загрузки используемого оборудования по времени целесообразно создание уни-

версального оборудования, выполняющего эти две технологические операции. В качестве такого оборудования возможно использование вальцовых плющилок-измельчителей. Известны работы [1, 2, 3], в которых проводился анализ влияния конструктивных параметров на производительность некоторых конструкций плющилок. Целью настоящей работы является проведение теоретического анализа влияния конструктивных параметров на производительность вальцевых плющилок-измельчителей при любом соотношении частот вращения и диаметров их вальцов, а также коэффициента трения вальцов о зерновку и угле наклона плоскости, проходящей через их оси вращения к горизонтальной плоскости.

Основная часть

Из анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в работах [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] следует, что при определении производительности, а затем и мощности вальцовой плющилки-измельчителя, необходимо учитывать скольжение зерна по поверхности вальцов. Используя результаты исследований, изложенных в работах [1, 4, 9], можно считать, что при плющении зерна существует дуга на поверхности каждого вальца, в пределах которой зерновка испытывает деформацию и скользит по поверхности вальца. Тогда весь путь  $l_{AC}$  ( $l_{A'C}$ ), проходимый зерновкой по вальцам, можно условно разделить на длины двух дуг: дуги деформации  $l_{AB}$  ( $l_{A'B'}$ ), ограниченной углом деформации  $\alpha_1$  ( $\alpha'_1$ ) и длины дуги скольжения  $l_{BC}$  ( $l_{B'C}$ ), ограниченной углом скольжения  $\alpha_2$  ( $\alpha'_2$ ). Если длина дуги деформации  $l_{AB}$  ( $l_{A'B'}$ ) практически однозначно определяется размерами и физико-механическими свойствами зерновки, а также зазором между вальцами  $b_3$ , то длина дуги скольжения  $l_{BC}$  ( $l_{B'C}$ ) будет иметь гораздо более сложную зависимость даже при плющении зерна. Если же рассматривать не только плющение, но и измельчение зерна вальцовыми измельчителями, то эта зависимость будет еще сложнее ввиду наличия в процессе измельчения зерна, кроме деформации и скольжения зерновки, сдвига, обусловленного разностью линейных скоростей образующих поверхностей вальцов.

Для того, чтобы найти указанные зависимости, составим расчетные схемы для наиболее типичных конструкций плющилок-измельчителей.

Вначале рассмотрим наиболее простую и широко используемую конструкцию плющилки зерна с одинаковыми диаметрами вальцов  $D$  и угловыми скоростями вращения  $n=n'$  (рис. 1). При этом обозначим все силы, действующие на зерновку, ось  $t-t$  направим по касательной к образующей окружности вальцов в точке контакта зерновки с вальцом, ось  $p-p$  – перпендикулярно касательной в точке контакта с вальцом.

Используя принцип Д'Аламбера запишем уравнение равновесия системы в проекциях сил на касательную  $t-t$

$$-F_u + F_{mp} + \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \cos \alpha_1 = 0, \quad (1)$$

где  $m$  – масса зерновки, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$F$  – дополнительная внешняя сила, действующая на зерновку, Н;

$$F_u = \frac{m}{2} \cdot a, \quad (2)$$

$F_u$  – сила инерции, действующая на зерновку в соответствии со вторым законом Ньютона, Н;

$$a = \frac{dv}{dt}, \quad (3)$$

$a$  – ускорение движения зерновки, м/с<sup>2</sup>;

$v$  – скорость движения зерновки, м/с;

$t$  – текущее время, с;

$$F_{mp} = f \cdot N \text{ – сила трения зерновки о вальцы, Н; } (4)$$

$f$  – коэффициент трения зерновки о вальцы;

$N$  – сила нормального давления, испытываемая зерновкой, Н;

$\alpha_1$  – угол деформации, рад.

Запишем уравнение равновесия системы в проекциях сил на ось  $p-p$

$$N - \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1 = 0 \quad (5)$$

или

$$N = \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1. \quad (6)$$

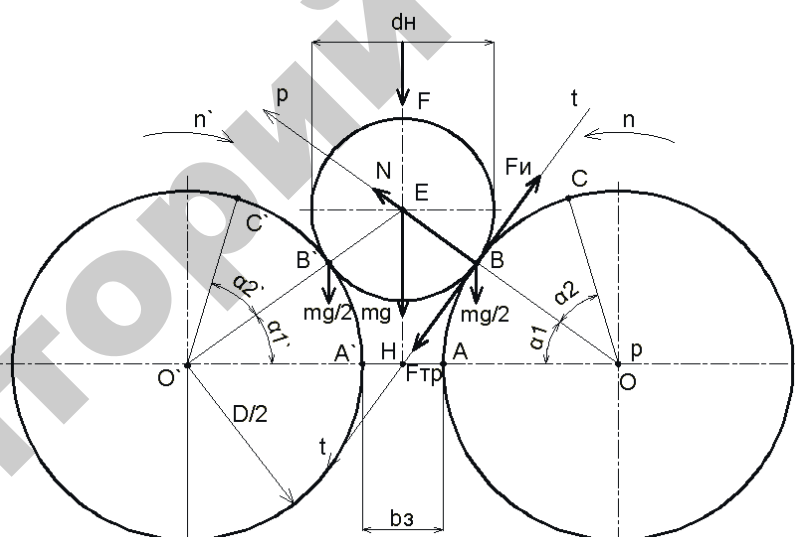


Рисунок 1. Расчетная схема для определения угла скольжения плющилки-измельчителя с одинаковым диаметром вальцов

Подставив выражения (2), (3), (4) и (6) в исходное уравнение (1), получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$-\frac{m}{2} \cdot \frac{dv}{dt} + f \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1 + \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \cos \alpha_1 = 0 \quad (7)$$

$$+\left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \cos \alpha_1 = 0$$

или

$$-\frac{dv}{dt} + f \left(g + \frac{F}{m}\right) \sin \alpha_1 + \left(g + \frac{F}{m}\right) \cos \alpha_1 = 0. \quad (8)$$

Полное решение этого уравнения:

$$v = \left( f \left( g + \frac{F}{m} \right) \sin \alpha_1 + \left( g + \frac{F}{m} \right) \cos \alpha_1 \right) t + C, \quad (9)$$

тогда при  $t=0$  и  $v = v_0$

$$C = v_0.$$

Следовательно, решение примет вид

$$v = \left( f \left( g + \frac{F}{m} \right) \sin \alpha_1 + \left( g + \frac{F}{m} \right) \cos \alpha_1 \right) t + v_0. \quad (10)$$

Тогда, выразим из уравнения (10) время скольжения зерна по поверхности вальца и обозначим его как  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \right)}. \quad (11)$$

Значение косинуса угла деформации  $\alpha_1$  найдем из треугольника EOH:

$$\cos \alpha_1 = \frac{D + b_3}{D + d_n}, \quad (12)$$

где  $D$  – диаметр вальцов, м;

$d_n$  – средняя толщина (диаметр) зерновки, м;

$b_3$  – зазор между вальцами, м.

Зная, что  $\sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1 = 1$  и используя соотношение (12), выразим  $\sin \alpha_1$ :

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2}. \quad (13)$$

Подставив полученные соотношения (12) и (13) в зависимость (11), получим следующее уравнение:

$$t_2 = \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}. \quad (14)$$

Минимизировать время скольжения  $t_2$ , а соответственно и затрат энергии на трение зерновки можно следующим образом:

– увеличивая начальную скорость зерновки  $v_0$  до линейной скорости образующей вальца  $v$ , тогда числитель уравнения (14), а соответственно и время  $t_2$  будут стремиться к нулю;

– увеличивая коэффициент трения зерновки о вальцы  $f$ , а также диаметр вальцов  $D$ , так как в данном случае величина  $\frac{D + b_3}{D + d_n} = \cos \alpha_1$  будет иметь

максимальное значение при любых реальных величинах зазора между вальцами  $b_3$  и средних толщин зерновки  $d_n$ , что в итоге приведет к увеличению знаменателя уравнения (14). При этом, чем большее значение будет иметь  $\cos \alpha_1$ , тем меньше будет оказывать

влияние на время скольжения  $t_2$  коэффициент трения зерновки о вальцы  $f$ .

Учитывая, что при реально возможных изменениях параметров  $D=(150...500)$  мм,  $b_3=(0,5...2)$  мм

или  $d_n=(2...10)$  мм согласно [3], выражение  $\frac{D + b_3}{D + d_n}$

будет меняться в пределах 0,94...0,981, то значение  $\sin \alpha_1$  из выражения (13) будет, соответственно, равно 0,341...0,194. Умножив значение  $\sin \alpha_1$  на коэффициент трения  $f$  меньший единицы (0,3...0,6), оно еще в меньшей степени будет оказывать влияние на знаменатель выражения (14);

– приложением к силе тяжести зерновки дополнительной силы, как в устройствах [10, 11, 12], обеспечивающей ей дополнительное ускорение  $a_1 = \frac{F}{m}$ .

Угол скольжения  $\alpha_2 = \alpha_2'$  (для рассматриваемого случая) можно определить из выражения угловой скорости  $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$  или

$$d\alpha = \frac{\pi n}{30} \cdot dt, \quad (15)$$

где  $n$  – частота вращения вальцов,  $\text{min}^{-1}$ .

Интегрируя выражение (15) по углу скольжения в пределах от 0 до  $\alpha_2$  и по времени от 0 до  $t_2$  запишем:

$$\int_0^{\alpha_2} d\alpha = \frac{\pi n}{30} \int_0^{t_2} dt. \quad (16)$$

Тогда

$$\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} t_2, \quad (17)$$

или с учетом выражения (14)

$$\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}. \quad (18)$$

Полученное выражение (18) связывает угол скольжения зерновки по вальцу со скоростями зерновки, диаметром вальцов, средней толщиной зерновки, зазором между вальцами и коэффициентом трения зерновки о вальцы.

Время контакта зерновки с вальцами будет определяться временем деформации  $t_1$  и временем скольжения  $t_2$  зерновки.

Тогда средняя фактическая скорость зерновки:

$$v_3 = \frac{l_{AB}}{t_1 + t_2}, \quad (19)$$

где  $l_{AB}$  – дуга деформации для рассматриваемого случая равна дуге  $l_{A'B'}$  и дуге на образующей окружности вальцов, контактирующей с зерновкой

$$l_{AB} = l_{A'B'} = \alpha_1 \cdot \frac{D}{2}, \text{ м}; \quad (20)$$

$$t_1 = \frac{30\alpha_1}{\pi n}, \text{ с.} \quad (21)$$

Учитывая, что скольжение зерновки происходит одновременно по поверхности двух валцов, время скольжения следует уменьшить в два раза. После подстановки выражений (14), (20) и (21) в зависимость (19) и проведения соответствующих преобразований с учетом равенства  $v = \frac{\pi n D}{60}$ , получим

$$v_3 = \frac{D}{\frac{D}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)^2} + \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)}}. \quad (22)$$

Тогда объемная производительность плющилки определяется по общеизвестной формуле  $Q = b_3 v_3 L$ , где  $L$  – длина валцов, м. С учетом формулы (22)

$$Q = \frac{L b_3 D}{\frac{D}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)^2} + \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)}}. \quad (24)$$

Умножив объемную производительность на объемную массу зерна, можно получить массовую производительность в кг/с.

Учитывая, что максимальная объемная пропускная способность валцов плющилки определяется по формуле

$$Q_{\max} = b_3 v L, \quad (25)$$

то коэффициент использования максимальной пропускной способности плющилки ( $0 < k_Q < 1$ )

$$k_Q = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{b v_3 L}{b v L} = \frac{v_3}{v}, \quad (26)$$

или

$$k_Q = \frac{D}{D + \frac{v(v-v_0)}{\alpha_1 \left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)^2} + \frac{D+b_3}{D+d_n} \right)}}. \quad (27)$$

Далее рассмотрим работу этой же конструкции плющилки с одинаковыми диаметрами валцов, но при разных угловых скоростях вращения, т.е. в режиме измельчения. При этом из-за разности линейных скоростей рабочих поверхностей валцов в зерновке наряду с деформацией и скольжением возникает сдвиг, обеспечивающий ее измельчение, что еще в большей степени усложняет расчет производительности измельчителя. Вывод указанной зависимости произведем для случая, когда частота вращения одного из валцов равна  $n$ , а второго –  $n'$ , соответственно, они будут иметь линейные скорости образующих  $v$  и  $v'$ . При

этом дуги деформации и сдвига  $l_{AB}$  и  $l_{A'B'}$ , ограниченные углами деформации и сдвига  $\alpha_1$  и  $\alpha_1'$ , и дуги скольжения  $l_{BC}$  и  $l_{B'C'}$ , ограниченные соответствующими углами скольжения  $\alpha_2$  и  $\alpha_2'$ , не будут попарно равными между собой (при этом дуга и соответствующий угол деформации и сдвига у вальца с большой линейной скоростью образующей будут большими, чем геометрические, изображенные на рис. 1), но время деформации и сдвига  $t_1$  для обоих валцов будет одинаковым.

Тогда длина дуги  $l_{AB} = \alpha_1 \cdot \frac{D}{2}$ , а дуги

$$l_{A'B'} = \alpha_1' \cdot \frac{D}{2}. \text{ Учитывая, что линейные скорости дви-}$$

жения образующих окружностей валцов не равны между собой, найдем отношение одной из скоростей к другой, например  $v'$  к  $v$ , и обозначим его буквой  $i$

$$i = \frac{v'}{v}.$$

Одновременно  $i$  можно определить и из других соотношений:

$$i = \frac{n'}{n} = \frac{\alpha_1'}{\alpha_1} = \frac{l_{A'B'}}{l_{AB}}. \quad (28)$$

Соответственно средняя длина дуги деформации и сдвига

$$l_{AB, \text{ср}} = \frac{l_{AB} + l_{A'B'}}{2} = \frac{D}{2} \frac{(\alpha_1 + \alpha_1')}{2} = \frac{D}{4} (\alpha_1 + \alpha_1') = \frac{D}{4} \alpha_1 (1 + i) = \frac{D}{4} \alpha_1 \left( 1 + \frac{n'}{n} \right) \quad (29)$$

Время скольжения зерновки по поверхностям соответствующих валцов ( $t_2 \neq t_2'$ ):

$$t_2 = \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \right)}; \quad (30)$$

$$t_2' = \frac{v' - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1' \right)}; \quad (31)$$

Соответственно углы скольжения валцов ( $\alpha_2 \neq \alpha_2'$ ):

$$\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \right)}; \quad (32)$$

$$\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot \frac{v' - v_0}{\left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1' \right)}. \quad (33)$$

Время скольжения зерновки по поверхности валцов определим как среднее  $t_2$  и  $t_2'$ , так как оба вальца воздействуют на зерновку по-разному

$$\frac{t_2+t_2'}{2} = \frac{v-v_0}{2\left(g+\frac{F}{m}\right)\left(f\sin\alpha_1+\cos\alpha_1\right)} + \frac{v'-v_0}{2\left(g+\frac{F'}{m'}\right)\left(f'\sin\alpha_1'+\cos\alpha_1'\right)} \quad (34)$$

Тогда средняя арифметическая скорость зерновки

$$v_3 = \frac{D\left(1+\frac{n'}{n}\right)}{\frac{2D}{v} + \frac{t_2+t_2'}{2} \cdot \frac{4}{\alpha_1}} \quad (35)$$

а объемная производительность

$$Q = \frac{Lb_3D\left(1+\frac{n'}{n}\right)}{n} \quad (36)$$

и коэффициент использования максимальной пропускной способности

$$k_Q = \frac{D\left(1+\frac{n'}{n}\right)}{2D + \frac{t_2+t_2'}{2} \cdot \frac{4g}{\alpha_1}} \quad (37)$$

Далее рассмотрим расчетную схему плюшки-измельчителя с различным диаметром вальцов (рис. 2).

При работе вальцов в режиме плющения независимо от их диаметра должно выполняться условие равенства линейных скоростей образующих поверх-

ностей вальцов, т.е.  $v=v'$ .

Тогда

$$\frac{v}{v'} = \frac{\pi dn/60}{\pi Dn'/60} = \frac{dn}{Dn'} = 1 \quad (38)$$

или

$$\frac{d}{D} = \frac{n'}{n} \quad (39)$$

Для определения времени скольжения зерновки по каждому из вальцов определим распределение воздействия массы зерновки на вальцы и косинусы углов деформации  $\alpha_1$  и  $\alpha_1'$  ввиду несимметрии  $\triangle EOO'$ . Обозначив наибольшую сторону указанного треугольника  $OO'$  (расстояние между осями вальцов) буквой  $a$ , вторую сторону  $O'E$  (расстояние от оси большего вальца до середины зерновки) буквой  $b$  и третью сторону  $OE$  (расстояние от оси меньшего вальца до середины зерновки) буквой  $c$ , выразим их через величины диаметров вальцов  $D$  и  $d$  и зерновки  $d_n$ , а также величину зазора между вальцами  $b_3$ :

$$a = \frac{D+d+2b_3}{2} \quad (40)$$

$$b = \frac{D+d_H}{2} \quad (41)$$

$$c = \frac{d+d_H}{2} \quad (42)$$

Согласно теореме косинусов

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos\alpha_1 \quad (43)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos\alpha_1' \quad (44)$$

Из выражений (43) и (44) выразим, соответственно,

$$\cos\alpha_1 = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (45)$$

$$\cos\alpha_1' = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (46)$$

и определим плечи приложения  $Y$  и  $Y'$  соответствующих составляющих масс зерновки ( $m-m'$ ) и  $m'$  на вальцы с осями вращения  $O$  и  $O'$ :

$$Y = \frac{d_H}{2} \cos\alpha_1 = \frac{d_H(a^2 + c^2 - b^2)}{4ac} \quad (47)$$

$$Y' = \frac{d_H}{2} \cos\alpha_1' = \frac{d_H(a^2 + b^2 - c^2)}{4ab} \quad (48)$$

Из условия равновесия зерновки запишем равенство моментов составляющих ее массы относительно центра зерновки

$$Y \cdot (m-m') = Y' \cdot m' \quad (49)$$

Из полученного уравнения выразим

$$m' = \frac{Y \cdot m}{Y + Y'} = \frac{(a^2 + c^2 - b^2)bm}{(a^2 + c^2 - b^2)b + (a^2 + b^2 - c^2)c} \quad (50)$$

аналогично составляющая дополнительной внешней силы  $F$

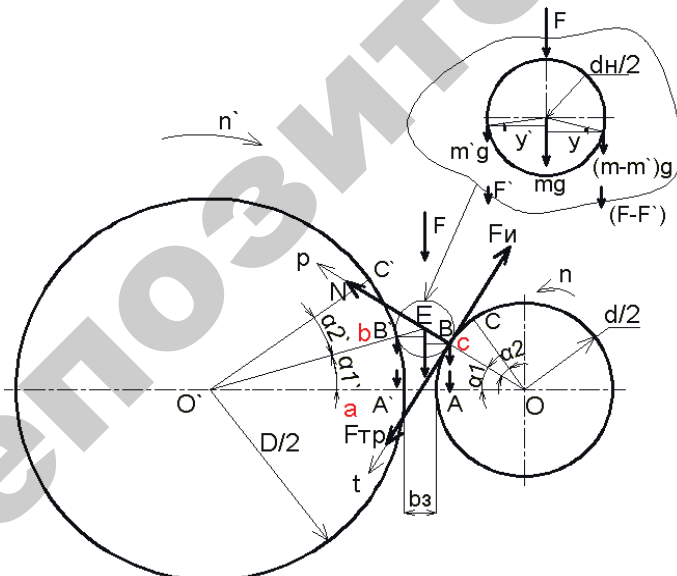


Рисунок 2. Расчетная схема для определения угла скольжения плюшки-измельчителя с различным диаметром вальцов

$$F' = \frac{Y \cdot F}{Y + Y'} = \frac{(a^2 + c^2 - b^2)bF}{(a^2 + c^2 - b^2)b + (a^2 + b^2 - c^2)c}. \quad (51)$$

Тогда

$$m - m' = m \left( 1 - \frac{(a^2 + c^2 - b^2)b}{(a^2 + c^2 - b^2)b + (a^2 + b^2 - c^2)c} \right) \quad (52)$$

$$\text{и } F - F' = F \left( 1 - \frac{(a^2 + c^2 - b^2)b}{(a^2 + c^2 - b^2)b + (a^2 + b^2 - c^2)c} \right). \quad (53)$$

По аналогии с уравнением (7), соответственно, для каждого из валцов запишем уравнение

$$-(m - m') \frac{dv}{dt} + f((m - m')g + (F - F')) \sin \alpha_1 + \\ + ((m - m')g + (F - F')) \cos \alpha_1 = 0 \quad (54)$$

$$-m' \frac{dv'}{dt} + f'(m'g + F') \sin \alpha_1' + \quad (55)$$

$$+(m'g + F') \cos \alpha_1' = 0$$

Решением будут выражения:

$$v = \left( f \left( g + \frac{F - F'}{m - m'} \right) \sin \alpha_1 + \right. \\ \left. + \left( g + \frac{F - F'}{m - m'} \right) \cos \alpha_1 \right) t + v_0 \quad (56)$$

$$v' = \left( f' \left( g + \frac{F'}{m'} \right) \sin \alpha_1' + \right. \\ \left. + \left( g + \frac{F'}{m'} \right) \cos \alpha_1' \right) t + v_0 \quad (57)$$

Используя полученные уравнения, выразим соответственно для каждого из валцов время скольжения  $t_2$  и  $t_2'$

$$t_2 = \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F - F'}{m - m'} \right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} \quad (58)$$

$$t_2' = \frac{v' - v_0}{\left( g + \frac{F'}{m'} \right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')} \quad (59)$$

Где с учетом выражений (45) и (46)

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \left( \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right)^2} \quad (60)$$

$$\sin \alpha_1' = \sqrt{1 - \left( \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right)^2} \quad (61)$$

Подставив соотношение (45), (46) и (60), (61) в (58), (59), получим:

$$t_2 = \frac{v - v_0}{\left( g + \frac{F - F'}{m - m'} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right)^2} + \left( \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right) \right)} \quad (62)$$

$$t_2' = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)^2} + \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)\right)}. \quad (63)$$

Минимизировать время скольжения зерновки  $t_2$  и  $t_2'$  в полученных выражениях (62) и (63) можно аналогично, как и в выражении (14).

При аналогичном реально возможном изменении значений диаметров валцов, зазора между валцами и размеров зерновки, а также использовании сочетания валцов с минимальным и максимальным диаметром косинусы углов деформации в выражениях (58) и (59) будут меняться в пределах 0,91...0,991, а синусы при этом будут равны 0,41...0,13, соответственно, для минимального и максимального диаметров валцов при наибольшем размере зерновки и минимальном зазоре между валцами.

Тогда углы скольжения зерновки по валцам  $\alpha_2$  и  $\alpha_2'$  с учетом выражений (62) и (63) будут равны

$$\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) \left(f \sqrt{1 - \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right)^2} + \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right)\right)}, \quad (64)$$

$$\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)^2} + \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)\right)}. \quad (65)$$

Время деформации зерновки  $t_1$  можно определить по любому из выражений

$$t_1 = \frac{30\alpha_1}{\pi n}, \quad t_1 = \frac{30\alpha_1'}{\pi n'}.$$

Время скольжения зерновки по поверхностям валцов определим как среднее  $t_{2,cp} = \frac{t_2 + t_2'}{2}$ .

Тогда, средняя фактическая скорость зерновки

$$v_3 = \frac{d}{\frac{d}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{v' - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F'}{m'}\right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}}. \quad (66)$$

Или аналогично выразим через значения параметров  $D$ ,  $v'$ ,  $\alpha_1'$  второго валца

$$v_3 = \frac{D}{\frac{D}{v'} + \frac{v - v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{v' - v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F'}{m'}\right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}}. \quad (67)$$

Для случая, когда валцы будут вращаться с различной линейной скоростью  $v \neq v'$ , т.е. будут работать в режиме измельчения, дуги деформации и сдвига зерновки на соответствующих валцах будут определяться по следующим выражениям:

$$l_{AB} = \alpha_1 \cdot \frac{d}{2}, \quad l_{A'B'} = \alpha_1' \cdot \frac{D}{2}.$$

Тогда средняя длина дуги деформации и сдвига

$$l_{AB.cp} = \frac{l_{AB} + l_{A'B'}}{2} = \frac{1}{4}(\alpha_1 d + \alpha_1' D) \quad (68)$$

Время деформации и сдвига, время и углы скольжения зерновки по каждому из валцов, а также его среднее время скольжения по поверхности валцов определяются аналогично, как и в предыдущем случае.

Соответственно по аналогии с выражением (66)

$$v_3 = \frac{(d + \frac{n}{n'} D)}{n} \cdot \frac{2d}{v} + \frac{2(v-v_0)}{\alpha_1 (g + \frac{F-F'}{m-m'}) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{2(v'-v_0)}{\alpha_1' (g + \frac{F'}{m'}) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')} \quad (69)$$

или

$$v_3 = \frac{(d + \frac{n}{n'} D)}{n'} \cdot \frac{2D}{v'} + \frac{2(v-v_0)}{\alpha_1' (g + \frac{F-F'}{m-m'}) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{2(v'-v_0)}{\alpha_1' (g + \frac{F'}{m'}) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')} \quad (70)$$

Зная  $v_3$  аналогично, как и в предыдущих случаях, выразим объемные производительности и коэффициент использования максимальной пропускной способности.

В заключение рассмотрим расчетную схему плющилки-измельчителя при любом соотношении диаметров валцов и наличии угла наклона  $\Delta\alpha$  плоскости, проходящей через оси валцов к горизонтальной плоскости (рис. 3). Такая схема расположения валцов используется, как правило, при компоновке конструкций двухступенчатых плющилок-измельчителей.

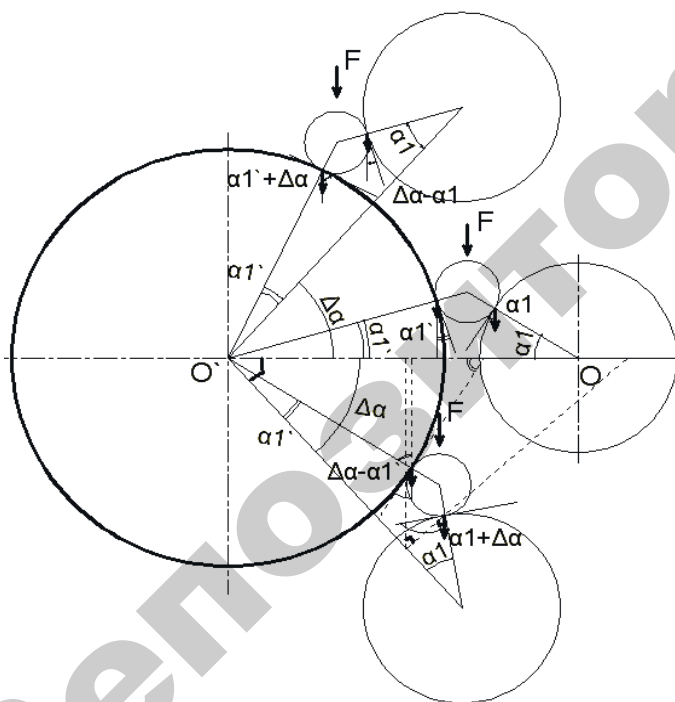


Рисунок 3. Расчетная схема для определения угла скольжения плющилки-измельчителя при любом соотношении диаметров валцов и наличии угла наклона  $\Delta\alpha$  плоскости, проходящей через оси валцов к горизонтальной плоскости

Для расчета скоростей зерновки, времени ее скольжения, производительности валцов и других параметров можно использовать ранее выведенные формулы для соответствующих расчетных схем без наклона плоскости, скорректировав при этом углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_1'$  на угол указанного наклона  $\Delta\alpha$  по правилу:

1. В расчетных схемах углы деформации у валцов, расположенных нижними относительно горизонтальной плоскости независимо от их диаметров, необходимо увеличить на угол наклона плоскости  $\Delta\alpha$ , т.е. соответствующие углы деформации будут равны  $\alpha_1 + \Delta\alpha$  или  $\alpha_1' + \Delta\alpha$ .

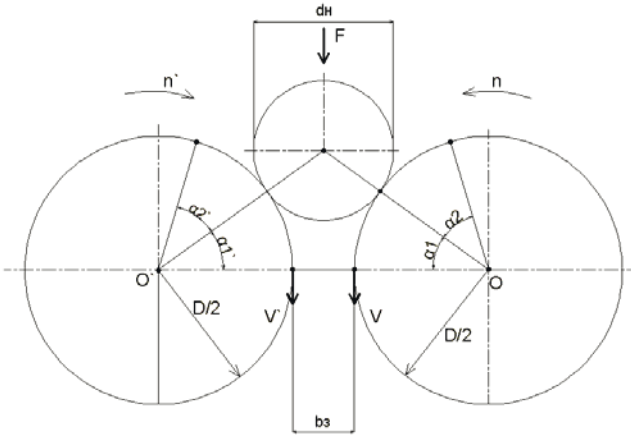
2. В расчетных схемах у валцов, расположенных верхними относительно горизонтальной плоскости независимо от их диаметров, соответствующие углы деформации будут вычисляться по формулам  $\Delta\alpha - \alpha_1$  или  $\Delta\alpha - \alpha_1'$ .

Справедливость указанных правил можно доказать приведенными дополнительными построениями на рис.3 (штриховые линии), доказывающими равенство соответствующих углов.

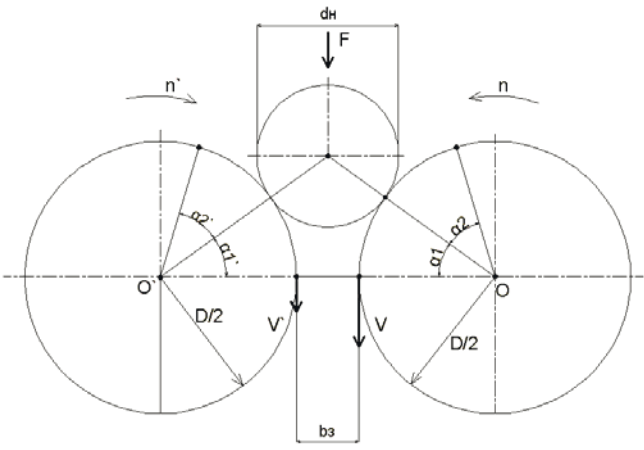
Для удобства использования, полученные расчетные формулы для рассмотренных расчетных схем сведены в таблицу 1.



Таблица 1

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;">  <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <math>f=f'</math>  <math>n=n'</math>  <math>\alpha_1=\alpha_1'</math>  <math>\alpha_2=\alpha_2'</math>  <math>v=v'</math> </div> <div> <math>f \neq f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math> </div> </div> </div> </div>
<p>Расчетные формулы</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 20px;"> <math display="block">t_2 = \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right)(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} = \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}</math> <math display="block">\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot t_2</math> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 20px;"> <math display="block">t_2' = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right)(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')} = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}</math> <math display="block">\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot t_2'</math> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 20px;"> <math display="block">v_3 = \frac{D}{v + \frac{D}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}} = \frac{D}{v' + \frac{D}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}}</math> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 20px;"> <math display="block">Q = \frac{D}{v + \frac{Lb_3 D}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}} = \frac{D}{v' + \frac{Lb_3 D}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}}</math> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <math display="block">k_Q = \frac{D}{D + \frac{v(v - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}} = \frac{D}{D + \frac{v'(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right)\left(f' \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_H}\right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_H}\right)}}</math> </div>

продолжение таблицы 1

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	<p>1</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>f \neq f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math> </div> </div>
<p>Расчетные формулы</p>	<p>2</p> $t_2 = \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)}$ $t_2' = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}$ $\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot t_2$ $\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot t_2'$ $v_3 = \frac{D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{\frac{2D}{v} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$ $= \frac{D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{\frac{2D}{v'} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$ $Q = \frac{L b_3 D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{\frac{2D}{v} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$ $= \frac{L b_3 D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{\frac{2D}{v'} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$ $k_Q = \frac{D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{2D + \frac{2(v - v_0)v}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)v}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$ $= \frac{D \left(1 + \frac{n'}{n}\right)}{2D + \frac{2(v - v_0)v'}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1\right)} + \frac{2(v' - v_0)v'}{\alpha_1' \left(g + \frac{F}{m}\right) \left(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1'\right)}} =$

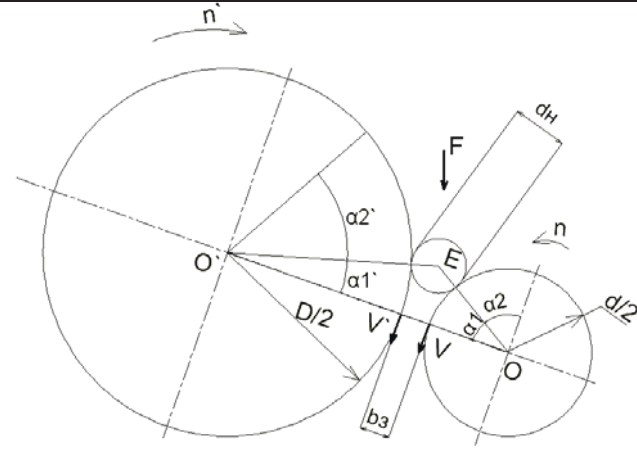
**продолжение таблицы 1**

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	<div style="text-align: center;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>D \neq d</math>  <math>v = v'</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>f \neq f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v = v'</math>  <math>D \neq d</math> </div> </div>
<p>Расчетные формулы</p>	$t_2 = \frac{v-v_0}{\left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right)(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} = \frac{v-v_0}{\left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right)f \sqrt{1 - \left(\frac{a^2+c^2-b^2}{2ac}\right)^2 + \left(\frac{a^2+c^2-b^2}{2ac}\right)^2}}$ $\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot t_2$ $t_2' = \frac{v'-v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right)(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')} = \frac{v'-v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right)f' \sqrt{1 - \left(\frac{a^2+b^2-c^2}{2ab}\right)^2 + \left(\frac{a^2+b^2-c^2}{2ab}\right)^2}}$ $\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot t_2'$ $v_3 = \frac{d}{A} = \frac{D}{A'} \quad Q = \frac{Lb_3 d}{A} = \frac{Lb_3 D}{A'} \quad K_Q = \frac{d}{Av} = \frac{D}{A'v'}$ $a = \frac{D+d+2b_3}{2} \quad \cos \alpha_1 = \frac{a^2+c^2-b^2}{2ac} \quad \sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1}$ $b = \frac{D+d_\mu}{2} \quad \cos \alpha_1' = \frac{a^2+b^2-c^2}{2ab} \quad \sin \alpha_1' = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1'}$ $c = \frac{d+d_\mu}{2}$ $A = \frac{d}{v} + \frac{v-v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right)(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{v'-v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F'}{m'}\right)(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}$ $A' = \frac{D}{v'} + \frac{v-v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right)(f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{v'-v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F'}{m'}\right)(f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}$

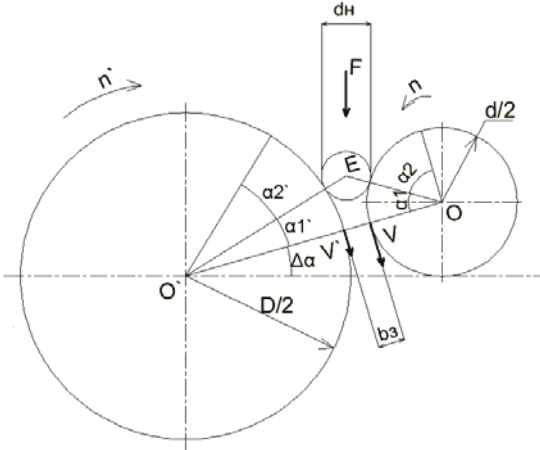
продолжение таблицы 1

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	<p>1</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n=n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>D \neq d</math>  <math>v \neq v'</math> </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math>  <math>D \neq d</math> </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <math>f \neq f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 = \alpha_2'</math>  <math>D \neq d</math>  <math>v \neq v'</math> </td> </tr> </table>	$f=f'$ $n=n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 \neq \alpha_2'$ $D \neq d$ $v \neq v'$	$f=f'$ $n \neq n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 \neq \alpha_2'$ $v \neq v'$ $D \neq d$	$f \neq f'$ $n \neq n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 = \alpha_2'$ $D \neq d$ $v \neq v'$
$f=f'$ $n=n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 \neq \alpha_2'$ $D \neq d$ $v \neq v'$	$f=f'$ $n \neq n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 \neq \alpha_2'$ $v \neq v'$ $D \neq d$	$f \neq f'$ $n \neq n'$ $\alpha_1 \neq \alpha_1'$ $\alpha_2 = \alpha_2'$ $D \neq d$ $v \neq v'$			
<p>Расчетные формулы</p>	<p>2</p> $t_2 = \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)}$ $\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot t_2$ $t_2' = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}$ $\alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot t_2'$ $v_3 = \frac{\left(d + \frac{n'}{n} D\right)}{AA} = \frac{\left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{AA'}$ $K_Q = \frac{\left(d + \frac{n'}{n} D\right)}{AA \cdot v} = \frac{\left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{AA' \cdot v'}$ $Q = \frac{Lb_3 \left(d + \frac{n'}{n} D\right)}{AA} = \frac{Lb_3 \left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{AA'}$				
		$AA = 2A = \frac{2d}{v} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F'}{m'}\right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}$ $AA' = 2A' = \frac{2D}{v'} + \frac{2(v - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) (f \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1)} + \frac{2(v' - v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F'}{m'}\right) (f' \sin \alpha_1' + \cos \alpha_1')}$			

продолжение таблицы 1

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	<p>1</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: left;"> <p><math>f=f'</math> <math>n \neq n'</math> <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math> <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math> <math>v=v'</math> <math>D \neq d</math></p> </div> <div style="text-align: left;"> <p><math>f \neq f'</math> <math>n \neq n'</math> <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math> <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math> <math>v=v'</math> <math>D \neq d</math></p> </div> </div>
<p>Расчетные формулы</p>	<p>2</p> $t_2 = \frac{v - v_0}{\left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) \left(f \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha)\right)} \quad \alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot t_2$ $t_2' = \frac{v' - v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\Delta\alpha - \alpha_1') + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1')\right)} \quad \alpha_2' = \frac{\pi n'}{30} \cdot t_2'$ $v_3 = \frac{d}{B} = \frac{D}{B'}$ $Q = \frac{L b_3 d}{B} = \frac{L b_3 D}{B'}$ $K_Q = \frac{d}{B v} = \frac{D}{B' v'}$ <hr/> $B = \frac{d}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) \left(f \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha)\right)} + \frac{v' - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\Delta\alpha - \alpha_1') + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1')\right)}$ $B' = \frac{D}{v'} + \frac{v - v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F - F'}{m - m'}\right) \left(f \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha)\right)} + \frac{v' - v_0}{\alpha_1' \left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\Delta\alpha - \alpha_1') + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1')\right)}$

продолжение таблицы 1

<p>Расчетные схемы и соотношения их параметров</p>	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n=n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math>  <math>D \neq d</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>f=f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math>  <math>D \neq d</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>f \neq f'</math>  <math>n \neq n'</math>  <math>\alpha_1 \neq \alpha_1'</math>  <math>\alpha_2 \neq \alpha_2'</math>  <math>v \neq v'</math>  <math>D = d</math> </div> </div>
<p>Расчетные формулы</p>	$t_2 = \frac{v-v_0}{\left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right) \left(f \sin(\Delta\alpha - \alpha_1) + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1)\right)}$ $t_2' = \frac{v'-v_0}{\left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\alpha_1' + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1' + \Delta\alpha)\right)}$ $v_3 = \frac{\left(d + \frac{n'}{n}D\right)}{BB} = \frac{\left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{BB'}$ $Q = \frac{Lb_3 \left(d + \frac{n'}{n}D\right)}{BB} = \frac{Lb_3 \left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{BB'}$ $K_Q = \frac{\left(d + \frac{n'}{n}D\right)}{BB \cdot v} = \frac{\left(d \frac{n}{n'} + D\right)}{BB' \cdot v'}$ $BB = 2B = \frac{2d}{v} + \frac{2(v-v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right) \left(f \sin(\Delta\alpha - \alpha_1) + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1)\right)} + \frac{2(v'-v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\alpha_1' + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1' + \Delta\alpha)\right)}$ $BB' = 2B' = \frac{2D}{v'} + \frac{2(v-v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F-F'}{m-m'}\right) \left(f \sin(\Delta\alpha - \alpha_1) + \cos(\Delta\alpha - \alpha_1)\right)} + \frac{2(v'-v_0)}{\alpha_1' \left(g + \frac{F'}{m'}\right) \left(f' \sin(\alpha_1' + \Delta\alpha) + \cos(\alpha_1' + \Delta\alpha)\right)}$

**Выводы**

1. При плющении и измельчении зерна на захватывание зерна вальцами влияют геометрические размеры зерна, величина зазора между образующими поверхностями вальцов, угол наклона плоскости, проходящей через оси вальцов к горизонтальной плоскости, а также соотношение размеров вальцов, их коэффициенты трения и начальная скорость зерновки. Условие захватывания зерна вальцами можно оценивать значением времени скольжения зерна по поверхности вальцов, при этом, чем лучше захватывание зерна, тем меньше время скольжения.

2. Уменьшения времени скольжения зерна по поверхности вальцов можно достичь увеличением диаметров вальцов, начальной скорости зерна, коэффици-

ентов трения зерна о поверхность вальцов и приложением дополнительной силы, совпадающей по направлению с силой тяжести.

3. Улучшая условия захвата зерна вальцами, т.е. уменьшая время скольжения зерна по поверхности вальцов, можно достичь максимально возможной производительности плющилки-измельчителя.

4. Полученные аналитические зависимости времени скольжения зерна, скорости зерновки, производительности и коэффициента использования максимальной пропускной способности плющилки-измельчителя показывают, что они зависят от диаметров и длины вальцов, их коэффициентов трения о зерновку, скорости вращения вальцов, межвальцового зазора, размера зерновки и её начальной скорости.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Воробьёв, Н.А. Теоретические исследования производительности вальцово-плющилки / Н.А. Воробьёв. // Агропанорама. – 2008. – № 2. – С. 45-48.
2. Пилипенко, А.Н. Определение условий захвата зерна вальцами плющилки/А.Н. Пилипенко, А.Г. Акулинин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Киев, 1975. – № 33. – С. 95-104.
3. Андрианов, А.М. Исследование рабочего процесса валковой зерноплющилки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ А.М. Андрианов; Воронежский инст. сельск. хозяйства им. К.Д. Глинки. – Воронеж, 1974. – 19 с.
4. Воробьёв, Н.А. К определению параметров машин для плющения зерна/ Н.А. Воробьёв // Инженерный вестник. – 2007. – №1. – С. 15- 17.
5. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ В.А. Одегов// – М.: РГБ, 2005. – 187 с.
6. Баранов, Л.Н. Повышение эффективности производства плющеного зерна путем совершенствования технологий и комплекса технических средств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Л.Н. Баранов; Сев. Западн. научн.-исслед. ин-т механиз. и электр. сельск. хоз-ва. – Санкт-Петербург – Павловск, 2005. – 18 с.
7. Ромалинский, В.С. Исследование процесса плющения влажного консервированного зерна и обоснование основных параметров и режимов работы

- плющилки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ В.С. Ромалинский; Всесоюз. научн.-исслед. ин-т электриф. сельск. хоз-ва. – Москва, 1978 – 18 с.
8. Дешко, В.И. Исследование и обоснование режимов плющения зерна после влаготепловой обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ В.И. Дешко; Укр. научн.-исслед. ин-т мех. и электр. сельск. хоз-ва. – Ленинград-Пушкин, 1978 – 19 с.
9. Шило, И.Н. К обоснованию мощности привода валцов плющилки/ И.Н. Шило, Н.А. Воробьёв, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2008. – №3. – С.25-28.
10. Вальцовая плющилка зерна: пат. 14052 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 4/00/ В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьёв; заявитель Белор. гос. агр. техн. унив-т. – № а 20080672; заявл. 26.05.2008; опубл. 28.02.2011// Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – №1. – С.84.
11. Вальцовая плющилка для зерна: пат. 14696 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 4/06; В 02 С 4/06/ В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьёв, М.К. Карпович; заявитель Белор. гос. агр. техн. унив-т. – № а 20090551; заявл. 17.04.2009; опубл. 30.08.2011// Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – №4. – С. 74-75.
12. Вальцовая плющилка для зерна: пат. на пол. мод. 5756 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 4/00/ И.Н. Шило, Н.А. Воробьёв, Е.М. Прищепова; заявитель Белор. гос. агр. техн. унив-т. – № и 20090412; заявл. 21.05.2009; опубл. 30.12.2009// Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 6. – С. 162.

**Пористые волокнистые материалы**

**Предназначены** для очистки жидкостей, газов от твердых частиц и жидких аэрозолей.



**Основные технические данные**

Тонкость очистки ППМ	
- при фильтрации газов	0,5...20 мкм
- при фильтрации жидкостей	1...100 мкм

Фильтры используются для очистки сжиженных и сжатых газов при их производстве и практическом использовании, отходящих газов в технологических циклах химического, биотехнологического, металлургического, цементного и др. производств, для очистки воды, горюче-смазочных материалов, пищевых продуктов (соки, пиво и др.), смол, осев для лаков, расплавов солей и полимеров.