APPONHMEHEPNA

УДК 621.928:637.022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ГРОХОТА С УЧЕТОМ УДАРНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

КАТУСОВ Дмитрий Николаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Рассматривается методика определения мощности привода плоского наклонного качающегося колосникового грохота с учетом ударного измельчения сепарируемого материала Методика определения мощности, приведенная в данной работе, дополнительно учитывает влияние угла заострения части колосников на снижение мощности, затрачиваемой на привод грохота.

Введение. Для механического разделения сыпучих смесей на перерабатывающих предприятиях используются плоские просеивающие устройства, называемые грохотами, как наиболее простые по конструктивному исполнению и имеющие высокую технологическую надежность, производительность и эффективность разделения.

Целью исследований в данной работе является изучение процесса ударного разрушения обрабатываемого материала при соударении с рабочей поверхностью колосникового грохота.

Материалы исследований. Существующие методики, описывающие процесс разделения сыпучих смесей при работе плоских грохотов, не уделяют достаточного внимания процессу ударного разрушения сепарируемого материала и его влиянию на технологические параметры

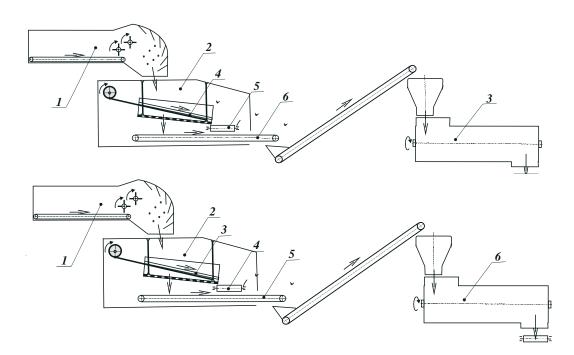


Рис. 1. Технологическая схема линии для приготовления субстрата:
1 – измельчитель; 2 – двухъярусное сепарирующее устройство; 3 – верхний колосниковый ярус грохота;
4 – транспортер для отвода сходовых фракций; 5 – транспортер для отвода проходовых фракций;
6 – смеситель





процесса грохочения. Между тем, во многих случаях данный вопрос является актуальным и требует к себе более пристального внимания.

Результаты исследований. Рассмотрим данный вопрос на примере работы двухъярусного грохота, входящего в состав линии для приготовления субстрата [2–10]. Технологическая схема линии представлена на рис. 1.

Линия (см. рис. 1). состоит из измельчителя 1, установленного над двухъярусным грохотом 2. Грохот связан наклонным транспортером со смесителем 6. Линия работает следующим образом: обрабатываемый материал подвергается предварительному измельчению в дробильной

камере измельчителя за счет удара о неподвижные штифты. Предварительно измельченный материал, обладающий запасом кинетической и потенциальной энергии, вылетает из дробильной камеры в грохот 2, где в результате соударения с продольными колосниками 3 происходит его дополнительное разрушение и одновременно гасится его избыточная кинетическая энергия, за счет чего исключается деформация сетки нижнего яруса грохота. Вместе с тем на продольных колосниках грохота происходит отделение крупных сходовых фракций. Проходовая фракция через щели между колосниками поступает на нижний ярус, где производится выделение материала заданного фракционного состава. Сходовые фракции материала удаляются поперечным транспортером 4, проходовые - горизонтальным продольным транспортером 5 и наклонным транспортером подаются в смеситель.

В данной работе основное внимание уделено исследованию процесса ударного разрушения обрабатываемого материала, происходящего на верхнем ярусе грохота, а для описания процесса разделения на нижнем ярусе целесообразно использовать стандартные методики.

Колосники верхнего яруса грохота имеют в своем сечении формы равнобедренных треугольников с равными основаниями и неравной высотой, развернутые относительно друг друга на 180 °С. При таком расположении колосников ширина щели между ними получается расширяющейся сверху вниз, что исключает возможность ее забивания обрабатываемым

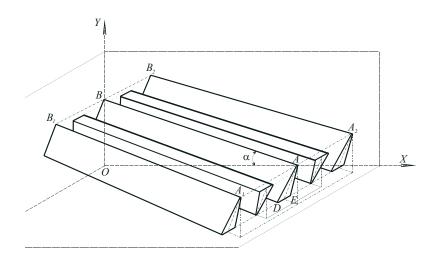


Рис. 2. Верхний ярус грохота

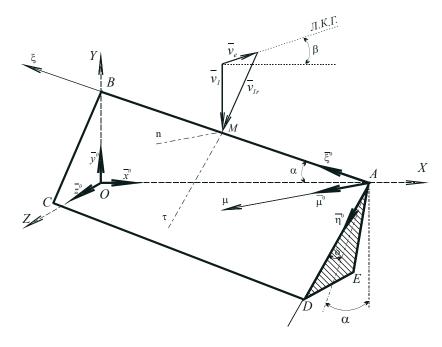


Рис. 3. Расчетная схема к определению мощности с учетом разрезания обрабатываемого материала кромкой АВ колосника

1 2019



материалом.

Верхние режущие кромки колосников образуют рабочую плоскость $A_1 A_2 B_3 B_1$, наклоненную под углом α к горизонту (рис. 2), причем угол α обычно меньше угла трения материала о рабочую поверхность. Если не учитывать конечной длины подвесок грохота и шатуна привода, то можно считать, что плоскость $A_1 A_2 B_2 B_1$ совершает гармонические колебания с переносной скоростью $\overline{\mathcal{V}}_{\scriptscriptstyle{e}}$, направленной под углом в к горизонту вдоль так называемой линии качания грохота (ЛКГ). Введем неподвижную систему отсчета ОХҮД, связанную с корпусом сепарирующего устройства и подвижную систему отсчета $A\xi\eta\mu$, связанную с режущим клином ABCDE(рис. 3). Ось Аξ направлена вдоль режущей кромки, плоскость $A\xi\eta$ совпадает с боковой гранью клина *ABCDE*, ось *A*µ перпендикулярна боковой грани *ABCD* клина. Абсолютную скорость частицы перед ударом обозначим \overline{v}_1 , относительную скорость частицы (по отношению к грохоту) – $\overline{\mathcal{V}}_{1r}$. Нормаль к боковой грани *ABCD* клина в точке удара M обозначим Mn, направление касательной составляющей вектора относительной скорости $\overline{\mathcal{V}}_{1r}$ в плоскости ABCD обозначим $M\tau$. Прямая Mn параллельна оси $A\mu$, прямая $M\tau$ образована пересечением боковой грани клина и плоскости, проходящей через вектор относительной скорости $\overline{\mathcal{V}}_r$ и нормаль Mn.

Введем для единичных векторов осей OX, OY, OZ обозначения \overline{x}^{o} , \overline{y}^{o} , \overline{z}^{o} , а единичные векторы осей $A\xi$, $A\eta$, $A\mu$ обозначим $\overline{\xi}^{o}$, $\overline{\eta}^{o}$, $\overline{\mu}^{o}$ соответственно.

Найдем проекции единичных векторов подвижной системы отсчета на оси неподвижной системы отсчета. Из рис. 3 видно:

$$\xi^{0}_{x}=-\cos\alpha; \ \xi^{0}_{y}=\sin\alpha; \ \xi^{0}_{z}=0$$
 .

$$\eta_{\chi}^{0} = -\cos\delta\sin\alpha; \ \eta_{\gamma}^{0} = -\cos\delta\sin\alpha; \ \eta_{z}^{0} = \sin\delta.$$

Проекции вектора $\overline{\mu}^{O}$ найдем, используя выражение векторного произведения через определитель 3-го порядка:

$$\overline{\mu}^{o} = \overline{\xi}^{o} \times \overline{\eta}^{o} = \begin{vmatrix} \overline{x}^{o} & \overline{y}^{o} & \overline{z}^{o} \\ \xi_{x}^{o} & \xi_{y}^{o} & \xi_{z}^{o} \\ \eta_{x}^{o} & \eta_{y}^{o} & \eta_{z}^{o} \end{vmatrix}.$$

Раскрывая определитель по элементам первой строки и производя вычисления, получим:

$$\mu_{\chi}^{o} = \sin \alpha \sin \delta$$
; $\mu_{y}^{o} = \cos \alpha \sin \delta$; $\mu_{z}^{o} = \cos \delta$.

Тогда проекции единичных векторов неподвижной системы отсчета на оси подвижной:

$$x_{\xi}^{\circ} = -\cos\alpha; \ x_{\eta}^{\circ} = -\cos\delta\sin\alpha;$$

$$x_{\mu}^{\circ} = \sin\alpha\sin\delta;$$

$$y_{\xi}^{\circ} = \sin\alpha; \ y_{\eta}^{\circ} = -\cos\delta\cos\alpha;$$

$$y_{\mu}^{\circ} = \cos\alpha\sin\delta;$$

$$z_{\xi}^{\circ} = 0; \ z_{\eta}^{\circ} = \sin\delta; \ z_{\mu}^{\circ} = \cos\delta.$$

Воспользовавшись результатами [7], можем записать:

$$\Delta K_n = m(-v_{1r,n}) \cdot (k_n + 1) n_1 v_{1r} \Delta t \Delta S;$$

$$\Delta K_{\tau} = m(-v_{1r,\tau}) \lambda_{\tau_p} n_1 v_{1r} \Delta t \Delta S'$$

где ΔK_n , ΔK_{τ} — проекции импульса, действующего на частицы за время Δt , на нормаль и касательное направление к боковой грани клина. Доля площади потока $\Delta S'$, занимаемая остальными частицами (не попадающими на режущие клинья), учитывается в формуле мощности в работе [7]; m — средняя масса частицы, разрезаемой клином; k_n — коэффициент восстановления нормальной составляющей скорости; n_1 — число частиц в единице объема подаваемого материала; Δt — промежуток времени; ΔS — доля площади потока, занимаемая частицами, попадающими на режущие клинья;

λ_{тр} – коэффициент мгновенного трения. Так как абсолютная скорость частицы перед ударом

$$\overline{\nu}_{\scriptscriptstyle 1} = \overline{\nu}_{\scriptscriptstyle 1r} + \overline{\nu}_{\scriptscriptstyle e}$$

то относительная скорость перед ударом:





$$\overline{\nu}_{_{1r}} = \overline{\nu}_{_1} - \overline{\nu}_{_e}$$

Найдем проекции векторов ν_1 и ν_e на оси $A\xi$, $A\eta$, $A\mu$:

$$\overline{\nu}_{1} = \nu_{1} (-\overline{y}^{0}) = \nu_{1} (-y_{\xi}^{0} \overline{\xi}^{0} - y_{\eta}^{0} \overline{\eta}^{0} - y_{\mu}^{0} \overline{\mu}^{0});$$

$$\nu_{1\xi} = -\nu_{1} y_{\xi}^{o} = -\nu_{1} \sin\alpha;$$

$$\nu_{1\eta} = -\nu_{1} y_{\eta}^{o} = +\nu_{1} \cos\delta\cos\alpha;$$

$$\nu_{1\mu} = -\nu_{1} y_{\mu}^{o} = -\nu_{1} \cos\alpha\sin\delta$$

Из рис. 3 видно:

$$v_{ex} = v_e \cos \beta$$
; $v_{ey} = v_e \sin \beta$; $v_{ez} = 0$.

Отсюда:

$$\overline{\nu}_e = \nu_{ex} \overline{\chi}^o + \nu_{ey} \overline{y}^o = \nu_{ex} (\chi_{\xi}^o \overline{\xi}^o + \chi_{\eta}^o \overline{\eta}^o + \chi_{\mu}^o \overline{\eta}^o) + \nu_{ey} (y_{\xi}^o \overline{\xi}^o + y_{\eta}^o \overline{\eta}^o + y_{\mu}^o \overline{\mu}^o).$$

Тогда находим:

$$\nu_{e\varsigma} = -\nu_e \cos(\alpha + \beta);$$

$$\nu_{e\eta} = -\nu_e \cos\delta \cdot \sin(\alpha + \beta);$$

$$\nu_{e\mu} = \nu_e \sin\delta \sin(\alpha + \beta).$$

Определим проекции относительной скорости перед ударом на оси подвижной системы отсчета:

$$v_{1r\xi} = v_{1\xi} - v_{e\xi} = -v_1 \sin\alpha + v_e \cos(\alpha + \beta);$$

$$v_{1r\eta} = v_{1\eta} - v_{e\eta} = v_1 \cos\alpha \cos\delta +$$

$$+ v_e \cos\delta \sin(\alpha + \beta);$$

$$v_{1r\mu} = v_{1\mu} - v_{e\mu} = -v_1 \cos\alpha \sin\delta -$$

$$- v_e \sin\delta \sin(\alpha + \beta).$$

Так как направление $M\tau$ определяется проекцией относительной скорости на плоскость боковой грани клина ($A\xi\eta$), то

$$\overline{\nu}_{1r,\tau} = \nu_{1r,\xi} \cdot \overline{\xi}^{\circ} + \nu_{1r,\eta} \cdot \overline{\eta}^{\circ}$$
.

Так как направление Mn параллельно $A\mu$, то

$$\overline{\nu}_{_{1r,n}}=\nu_{_{1r,\,\mu}}\cdot\overline{\mu}^{_{o}}$$
 .

Обозначим:

$$K_{1} = -m(k_{n} + 1)n_{1}\nu_{1}\Delta S;$$

$$K_{2} = -m\lambda_{TD}n_{1}\nu_{1}\Delta S.$$

Тогда составляющие реакции клина на поток:

$$\overline{R}_n = K_1 \cdot \overline{\nu}_{1r,\mu} \cdot \overline{R}_{\tau} = K_2 \cdot \overline{\nu}_{1r,\tau}$$

Найдем составляющие мгновенной мощности:

$$N_{n} = \overline{R}_{n} \cdot \overline{\nu}_{e} = K_{1} \cdot \nu_{1r,\mu} \cdot \nu_{e\mu} =$$

$$= K_{1} \left[-\nu_{1} \cos\alpha \sin\delta - \nu_{e} \sin\delta \sin(\alpha + \beta) \right] \times$$

$$\times \nu_{e} \sin\delta \sin(\alpha + \beta).$$

$$N_{\tau} = \overline{R}_{\tau} \cdot \overline{\nu}_{e} = K_{2} \cdot (\nu_{1}r, \xi \overline{\xi}^{0} + \nu_{1}r, \eta \overline{\eta}^{0}) \times$$

$$\times (\nu_{e}\xi \overline{\xi}^{0} + \nu_{e}\eta \overline{\eta}^{0} + \nu_{e}\mu \overline{\mu}^{0}) =$$

$$= K_{2}(\nu_{1}r\xi \cdot \nu_{e}\xi + \nu_{1}r\eta \nu_{e}\eta) =$$

$$K_{2} \left[-\nu_{1}\sin\alpha + \nu_{e}\cos(\alpha + \beta) \right] \times$$

$$\times \left[-\nu_{e}\cos(\alpha + \beta) \right] +$$

$$+ K_{2} \left[\nu_{1}\cos\alpha + \cos\beta + \nu_{e}\cos\sin(\alpha + \beta) \right] \times$$

$$\times \left[-\nu_{e}\cos\sin(\alpha + \beta) \right].$$

При гармонических колебаниях:

$$v_e = r \omega \sin \omega t$$
,

где r – амплитуда колебаний; ω – круговая частота колебаний [3].

Работа, совершаемая за период $T=2\pi/\omega$

равна:
$$A = \int\limits_0^T N \,\mathrm{d}\, t$$
, средняя мощность: $N_{\rm cp} = \frac{1}{T} A$.

Подсчет интегралов сводится к вычислению двух видов интегралов:

$$\int_{0}^{T} \nu_{e} dt = 0 \qquad \text{if} \qquad \int_{0}^{T} \nu_{e}^{2} dt = r^{2} \omega^{2} \frac{T}{2}$$

Мощность, необходимая для привода грохота:

$$N_{cp} = [-K_1 \sin^2 \delta \sin^2 (\alpha + \beta) - K_2 \cos^2 (\alpha + \beta) - K_2 \cos^2 \delta \sin^2 (\alpha + \beta)] \frac{r^2 \omega^2}{2}.$$
 (1)



Заключение. Предложена оригинальная методика определения мощности привода грохота с учетом ударного взаимодействия рабочей поверхности и сепарируемого материала. Формула по определению мощности, приведенная в данной работе, дополняет результаты предыдущей работы автора [7], так как дополнительно учитывает влияние угла заострения части колосников. В частном случае, при $\delta < \pi/2$ получаем колосники без заострения. Для этого случая справедливы результаты, приведенные в работе [7].

Анализ формулы (1) показывает, что при наличии угла заострения $\delta = \pi/2$ происходит снижение мощности, затрачиваемой на привод грохота. Так, при снижении угла δ от $\varpi/2$ до $\varpi/12$ произойдет снижение мощности, затрачиваемой на привод верхнего яруса грохота на 1/6 часть (мощность составит 83,3 % от первоначального значения).

Конструктивно такое снижение мощности можно объяснить снижением доли площади потока, занимаемой частицами, попадающими на режущие клинья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Бухгольц Н.Н.* Основной курс теоретической механики. Ч.2. М.: Наука, 1972. 332 с.
- 2. *Катусов Д.Н.* Анализ работы сепарирующего устройства для отделения механических примесей от твердых органических удобрений // Степные просторы. 1999. Июль. С. 20–21.
- 3. *Катусов Д.Н.* Влияние давления потока частиц обрабатываемого материала на мощность привода грохота сепарирующего устройства // Молодые ученые ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» агропромышленному комплексу Поволжского региона: сб. науч. работ. Саратов, 2003. С. 314–318.

- 4. *Катусов Д.Н.* Методика расчета мощности плоского сепаратора для механической классификации зернистых материалов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. -2006. N^2 6 C. 45–48.
- 5. Катусов Д.Н. Совершенствование технологии и оборудования производства биоудобрений / LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH Saarbracken, Germany, 2012. 180 с.
- 6. *Катусов Д.Н.* Совершенствование технологического процесса сепарации ферментированных органических удобрений при вермикультивировании с разработкой и обоснованием параметров сепарирующего устройства: дис. ... канд. техн. наук. –Саратов, 2004. 202 с.
- 7. *Катусов Д.Н.* Определение мощности привода грохота при ударном взаимодействии с сепарируемым материалом // Аграрный научный журнал. $2018. N^2 4. C. 47-51.$
- 8. Патент РФ N° 2130243 МПК7 6 A 01 C 3/02, C 05 F 3/06. Линия для приготовления субстрата. / Спевак В.Я., Катусов Д.Н., Куделин В.В., Скотников Д.А. / N° 97109555/13; заявл. 05.06.97; опубл. 20.05.99, Бюл. N° 14. 12 с.
- 9. Спевак В.Я., Катусов Д.Н. Методика и результаты экспериментальных исследований сепарирующего устройства твердых органических удобрений // Молодые ученые агропромышленному комплексу Поволжского региона: сб. науч. работ. Саратов, 2004. С. 77–84.
- 10. Технологическое оборудование для механизации процессов вермикультивирования / В.Я. Спевак [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2002. N° 1. С. 78–79.

Катусов Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология производства и переработки продукции животноводства», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410005, г. Саратов, ул. Соколовая, 335. Тел.: (8452) 69-25-32.

Ключевые слова: грохот; сепарация; колосник; фракция; поверхность; мощность.

DETERMINATION OF POWER OF THE DRIVE OF THE ROAR TAKING INTO ACCOUNT SHOCK CRUSHING OF THE PROCESSED MATERIAL

Katusov Dmitry Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Production Technology and Processing of Livestock Production", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: roar; separation; grate; fraction; surface; power.

The technique of determination of power of the drive of the flat inclined shaking grid-iron roar taking into account shock crushing of the separated material is considered. The technique of determination of power given in this work in addition considers influence of a corner of a point of the part of grid-irons on power deceleration spent for the roar drive.

1 2019

