

*к.т.н., доц. Левченко Э.П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

НЕКОТОРЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ РАЗГОННО-УДАРНЫХ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН

На засаді системного аналізу розглянуті умови руху матеріалу через робочий простір розгінного млину на окремих етапах його роботи.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При использовании дробильно-измельчительных машин в различных областях народного хозяйства, приоритетным направлением является снижение энергозатрат на переработку материала, а также повышение качества готового продукта [1].

Центробежно-ударные измельчительные машины обеспечивают благоприятные условия разрушения материала однократным ударом. В результате практически вся кинетическая энергия, запасённая материалом во время его разгона, переходит в работу разрушения, а переизмельчение сырья снижается. Поэтому актуальным является разработка и исследование машин такого типа, что проводилось в НИиПКИ "Параметр" по госбюджетной теме "Разработка путей оптимизации процесса измельчения зерна и конструктивных элементов центробежно-ударных мельниц с целью повышения потребительских свойств комбикормов" в 1997-1998 гг. (№ГР 0295U003812) [2].

Анализ исследований и публикаций. Изучением процессов измельчения в центробежно-ударных мельницах занимались Елисеев В.А., Оскаленко Г.Н., Сокур Н. И., Багян Э.Р. и другие. Анализ изученных источников показал, что в основном исследования машин центробежно-ударного типа направлены на разрушение горнорудных материалов. В.А. Елисеев, доказал, что расход энергии на измельчение в центробежно-ударной мельнице почти в два раза меньше, чем в молотковой дробилке.

По результатам научного анализа литературы по теме можно сделать вывод, что исследовались лишь отдельные аспекты технологического измельчения материалов без применения системного анализа.

Постановка задачи. Заданием данной публикации является разработка элементов методики расчета многоступенчатых разгонно-ударных дробильно-измельчительных машин.

Изложение материала и его результаты. Основным фактором, влияющим на эффективность работы центробежно-ударной дробильно-измельчительной машины, является скорость движения измельчаемого материала. Для изучения влияния различных элементов мельницы составим структурную схему её различных конструкции. Например, для простейшей мельницы такая схема представлена на рис. 1 - а. Она состоит из пяти элементов - подсистем. Каждая из подсистем выполняет специфические, свойственные только ей функции, и переводит систему из предшествующего данной подсистеме состояния S_{ic} с параметром V_n , в последующее её состояние S_{i+1} с параметром V_{n+1} , где V_n – скорость материала в предшествующей подсистеме, а V_{n+1} – скорость материала на последующем её состоянии.

В общем виде можно предположить, что для любой конструкции рассматриваемых машин скорость материала будет изменяться при следующих условиях, которые зависят от местонахождения частицы:

- истечения из загрузочного бункера;
- поступления на ротор мельницы;
- выбросе из ротора;
- ударе об отбойные поверхности;
- выгрузке из внутреннего пространства машины.

В зависимости от этих условий функции, выполняемые подсистемами мельницы, будут различны: 1.1 – формирование исходного потока частиц из выгрузочного отверстия бункера; 1.2 – поступление материала на ротор мельницы; 1.3 – выброс материала из ротора; 1.4– удар о футеровку; 1.5 – выгрузка готового продукта.

Для конструкции мельницы, имеющей роторы и отбойные кольца различного диаметра структурная схема приведена на рис. 1 - б. Система состоит из тех же подсистем, что и предыдущая, но имеет некоторые отличия. Так как скорость вылета материала из роторов (ввиду различия их диаметров) неодинакова, то и соответствующие подсистемы представлены несколькими (в зависимости от количества разгонных каналов ротора) подсистемами: 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 и 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3. В связи с тем, что отбойные кольца имеют также различные диаметры, то подсистема, определяющая скорость удара материала об отбойные плиты представлена подсистемами 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, число которых соответствует числу отбойных колец.

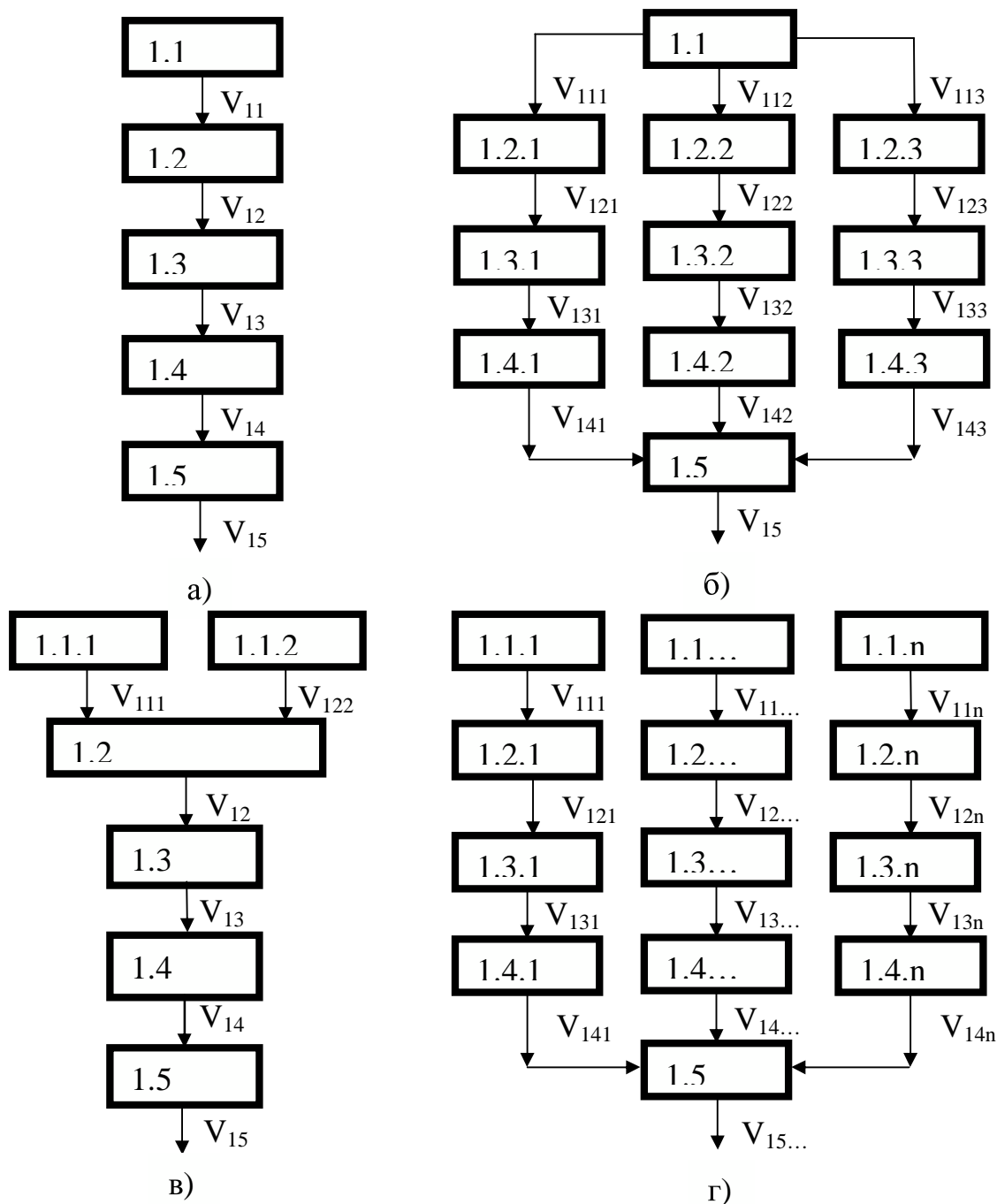


Рисунок 1 – Структурные схемы центробежных мельниц:
а) простейшая конструкция; б) с различными диаметрами роторов и отбойных колец; в) с несколькими загрузочными приспособлениями; г) обобщённая схема.

V_{11} – скорость материала на выходе из бункера;

V_{12} – скорость поступления частицы на ротор;

V_{13} – скорость выброса частицы из ротора;

V_{14} – скорость удара материала об отбойные плиты;

V_{15} – скорость выгрузки готового продукта.

Составим структурную схему (Рис. 1 – в) конструкции центробежно-ударной машины [3]. Такая мельница, кроме различия скоростей истечения, обеспечивает разные скорости подачи материала на диски ротора. Для того, чтобы в загрузочные отверстия каждого из роторов исходный продукт поступал равномерно, диски выполнены разного размера, следовательно, подсистема, задающая поступление частиц на роторы, состоит из нескольких составляющих: 1.1.1 и 1.1.2.

Из приведенных структурных схем рассмотренных центробежно-ударных дробильно-измельчительных машин видно, что все они являются частными случаями. Общий случай схемы структурного построения представлен на рисунке 1 – г, где многоступенчатое измельчение учтено дублированием соответствующих подсистем. Так как разделение потоков готового продукта представляется нецелесообразным (ввиду наличия в нём частиц различной крупности), то разделение подсистемы, выполняющей функции выгрузки готового продукта, на составляющие не проводится.

При системном анализе измельчение материала в двухступенчатой центробежно-ударной мельнице [4] может быть формализовано в виде процесса, выполняемого системой, состоящей из девяти подсистем (Рис. 2): 1.1 – формирование исходного потока частиц в мельницу, 1.2 – поступление материала на распределительный конус ротора первой ступени, 1.3 – выброс из ротора первой ступени, 1.4 – удар об отбойные плиты первой ступени, 1.5 – пневмотранспортирование сырьевой массы к ротору второй ступени, 1.6 – захват материала ротором второй ступени, 1.7 – выброс частиц из ротора второй ступени, 1.8 – удар материала об отбойные плиты второй ступени, 1.9 – пневмотранспортирование сырьевой массы в разгрузочный патрубок мельницы.

Подсистема 1.1 (Рис. 2) формирует исходный поток сырья из бункера со скоростью V_{11} . Для определения предельной скорости истечения считаем, что материал мелкозернистый, а истечение носит нормальный характер [5].

$$V_{11} = \sigma_1 \sqrt{\frac{gr}{2th\alpha}}, \quad (1)$$

где σ_1 - коэффициент пропорциональности;

r – радиус вписанной окружности выпускного отверстия;

α - угол отклонения стенки бункера от вертикали.

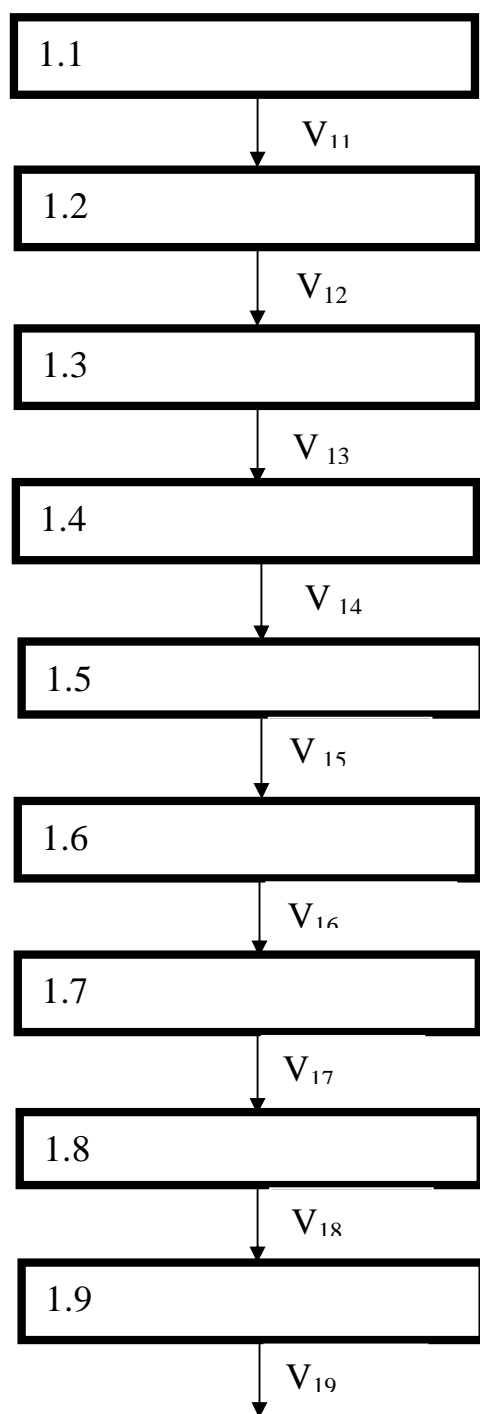


Рисунок 2 - Структурная схема двухступенчатой центробежно-ударной мельницы

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\theta + 2}{\theta - 3}},$$

где θ - параметр сопротивления.

$$\theta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} \operatorname{tg}(\beta + \psi) \operatorname{tg}(j + \alpha),$$

где β и ψ - параметры сыпучего тела;

α - параметр формы бункера;

φ - параметр совместных свойств бункера и сыпучего материала.

Подсистема 1.2 (Рис. 2) задает движение частицы по распределительному конусу ротора первой ступени со скоростью V_{12} . Скорость материала определяется по формуле [6]:

$$V_{12} = (g(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_{11}\sin\alpha)\cos\alpha, \quad (2)$$

где α – угол наклона стенки конуса к горизонту;

g – ускорение свободного падения;

f – коэффициент трения;

Подсистема 1.3 (Рис. 2) обуславливает абсолютную скорость выброса материала из ротора первой ступени V_{13} . Для оценки влияния начальных условий на эту скорость необходимо составить и решить дифференциальное уравнение движения частицы внутри ротора мельницы.

Абсолютную скорость V_{13} определяется как [7]:

$$V_{13}(t_1) = \omega R \sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f}{\sqrt{f^2 + 1 + f}} \right)^2} + \frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f \right) \frac{a}{R}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}, \quad (3)$$

где ω - угловая скорость вращения ротора;

R – радиус ротора;

a – радиус окружности в месте начала лопасти.

Подсистема 1.4 (Рис. 2) определяет скорость удара материала об отбойные плиты первой ступени измельчения центробежной мельницы V_{14} .

Скорость в момент удара [6]:

$$V_{14} = \frac{V_{13}}{-kV_{13} \frac{1 - e^{-kL}}{kV_{13}} + 1} = V_{13} e^{-kL}, \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности;
 L – длина полета частицы.

Рассмотрим схему сил, действующих на частицу материала при ее движении в воздушном потоке. Такая функция выполняется подсистемой 1.5. (Рис. 2).

При этом скорость движения частицы:

$$V_{15} = \frac{F_{\text{лоб}} - fF_g}{m} \sqrt{\frac{F_{\text{лоб}} - fF_g}{2mS}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{лоб}}$ – сила лобового сопротивления частицы в воздухе;
 F_g – вес частицы;
 m – масса частицы;

Подсистема 1.6 задаёт движение частицы, предварительно разрушившейся на первой ступени измельчения, в ротор второй ступени измельчения мельницы со скоростью V_{16} . Данная подсистема аналогична подсистеме 1.2 (Рис. 2). Скорость движения частицы по распределительному конусу ротора второй ступени может определяться по (2), где начальные условия выразятся скоростью V_{15} . Так как скорость движения частиц материала обуславливается скоростью воздушного потока предположим, что скорость пневмотранспортировки V_{15} , при переходе частиц из верхней части мельницы в отверстие горизонтальной перегородки определяется скоростью V_{16} .

$$V_{16} = (gt(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_{15}\sin\alpha)\cos\alpha \quad (6)$$

Подсистема 1.7 определяет абсолютную скорость выброса материала из ротора второй ступени V_{17} .

Эта подсистема выполняет функции, аналогичные функциям подсистемы 1.3 (Рис. 2).

Формула времени движения частицы вдоль лопасти:

$$t_2 = \frac{l}{\omega(\sqrt{f^2 + l - f})} \ln \left\{ \frac{2\omega(\sqrt{R^2 - a^2 - fa})\sqrt{f^2 + l}}{\omega(b - af + r)(\sqrt{f^2 + l + f}) + V_{16}} \right\}$$

Ввиду слабого влияния начальных условий для расчёта абсолютной скорости вылета частицы может использоваться зависимость (3).

Подсистема 1.8 задаёт скорость удара частиц об отбойные плиты второй ступени измельчения центробежной мельницы V_{18} . Скорость в момент удара рассчитываем по (4).

Подсистема 1.9 обуславливает транспортирование пылевой массы в выгрузочное приспособление мельницы со скоростью V_{19} . Функции, выполняемые этой подсистемой, те же, что и функции подсистемы 1.4 (Рис. 2). Формула скорости частицы соответствует формуле (5).

Для определения влияния шумовых и пылевых факторов на оператора обслуживающего мельницу были проведены замеры уровня звукового давления на расстоянии, уровня вибрации и запылённости воздуха [8]. При этом бралось во внимание, что уровень звукового давления на расстоянии 1м от наружного контура мельницы в октановых полосах частот не должен превышать значений, приведенных в таблице 1 в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83.

Таблица 1 - Нормативные значения уровня звукового давления

Среднегеометрическая частота октавы, Гц		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, не более	На рабочем ходу	98	102	102	102	101	98	90	85
	На холостом ходу	96	91	88	87	85	81	77	71

Уровень вибрации, передающейся от мельницы на рабочее место оператора не должен превышать значений указанных в таблице 2 и соответствовать ГОСТ 12.1.012-90.

При работе мельницы с номинальной нагрузкой воздух в районе мельницы должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88.

Для измерения вышеперечисленных показателей шума, вибрации и запылённости применялось следующее оборудование и приборы.

Шум и вибрация определялись при помощи измерителя шума и вибрации ЗШВ-003 с вибропреобразователем ДН-3-М1.

Состояние запылённости воздуха определялась с помощью аспиратора для отбора проб воздуха АЭР 4 с аллонжем (патроном) для удержания фильтра.

В результате испытаний было установлено, что все контролируемые показатели характеризующие степень воздействия на оператора вредных факторов находятся в пределах допустимых нормативных требований соответствующих ГОСТов. Величины проведенных замеров приведены ниже в таблицах 3 и 4.

Таблица 2 - Нормативные значения уровня вибрации

Направления по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с×10 ²					
	Уровень виброскорости, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Вертикальные	1,8	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
Горизонтальные	108	99	93	92	92	92

Таблица 3 - Измеренные значения уровня звукового давления

Среднегеометрическая частота октавы, Гц		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, не более	На рабочем ходу	88	90	92	92	90	88	84	80
	На холостом ходу	80	80	78	76	74	72	70	66

Таблица 4 - Измеренные значения уровня вибрации

Направления по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с ×10 ⁻²					
	Уровень виброскорости, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Вертикальные	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
Горизонтальные	-	-	0,15	0,1	0,1	0,1

Запылённость воздуха в зоне работы мельницы составила 1,61 мг/мм³, что значительно ниже норм запылённости воздуха.

Выводы и направления дальнейших исследований. На основе системного анализа разработаны структурные схемы различных вариантов конструкций разгонно-ударных дробильно-измельчительных машин. На примере структурной схемы двухступенчатой конструкции центробежно-ударной мельницы получены зависимости изменения скорости на отдельных этапах движения материала через рабочее пространство машины. Экспериментальные измерения шумовых и пылевых факторов при работе мельницы на расстоянии 1 м от наружного ее контура на оператора вредного воздействия не оказывают.

На основе системного анализа рассмотрены условия движения материала через рабочее пространство разгонной мельницы на отдельных этапах ее работы.

On the basis of the system analysis conditions of movement of a material through working space mills at separate stages of its work are considered.

Библиографический список.

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Музейник Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.

2. Разработка путей оптимизации процесса измельчения зерна и конструктивных элементов центробежно-ударных мельниц с целью повышения потребительских свойств комбикормов. Отчёт о НИР (заключительный) / Научн.-исслед. проектн. - констр. ин-т "Параметр"; № ГР 0295U003812; - Алчевск, 1998. - 102 с.

3. А.с. № 1827286. СССР. Центробежная дробилка / П.П. Королев, А.Н. Онопченко, Э.П. Левченко, С.В. Сергиенко (СССР). - № 4925557/33; Заявлено 08.04.91; Оpubл. 15.07.93, Бюл. № 26.

4. Пат. № 2029618. Россия. МКИ В 02 С 13/14. Центробежная дробилка / А.Н. Онопченко, А.М. Зинченко, Э.П. Левченко, Р.М. Сухомлин. (Россия); - №4882162/33; Заявл. 16.11.90; Оpubл. 30.01.93; Бюл. № 6.

5. Гячев Л.В. Основы теории бункеров Новосибирск.: Изд-во Новосибир. унив., 1992. - 312 с.

6. Левченко Э.П. Интенсификация технологического процесса измельчения зерна на комбикорм в центробежно-ударной мельнице. Дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук.- Алчевск: 2001.- 288 с.

7. Оскаленко Г. Н. Исследование измельчения и дробления силикатных и других материалов в центробежной роторной мельнице-дробилке: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.06 / Днепрпетр. хим.-технол. ин-т. - Днепрпетровск, 1965.- 27 с.

8. Левченко Э.П. Исследование работы центробежно-ударной мельницы. Материалы международной конференции "Экология и безопасность жизнедеятельности". Алчевск, 2000. С. 152-154.