

МВССО УССР

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический
институт пищевой промышленности

УДК.621.928.8

Омельченко А.Д., Паламаренко А.З., Артюхов Ю.Г.,

Мироненко С.М.

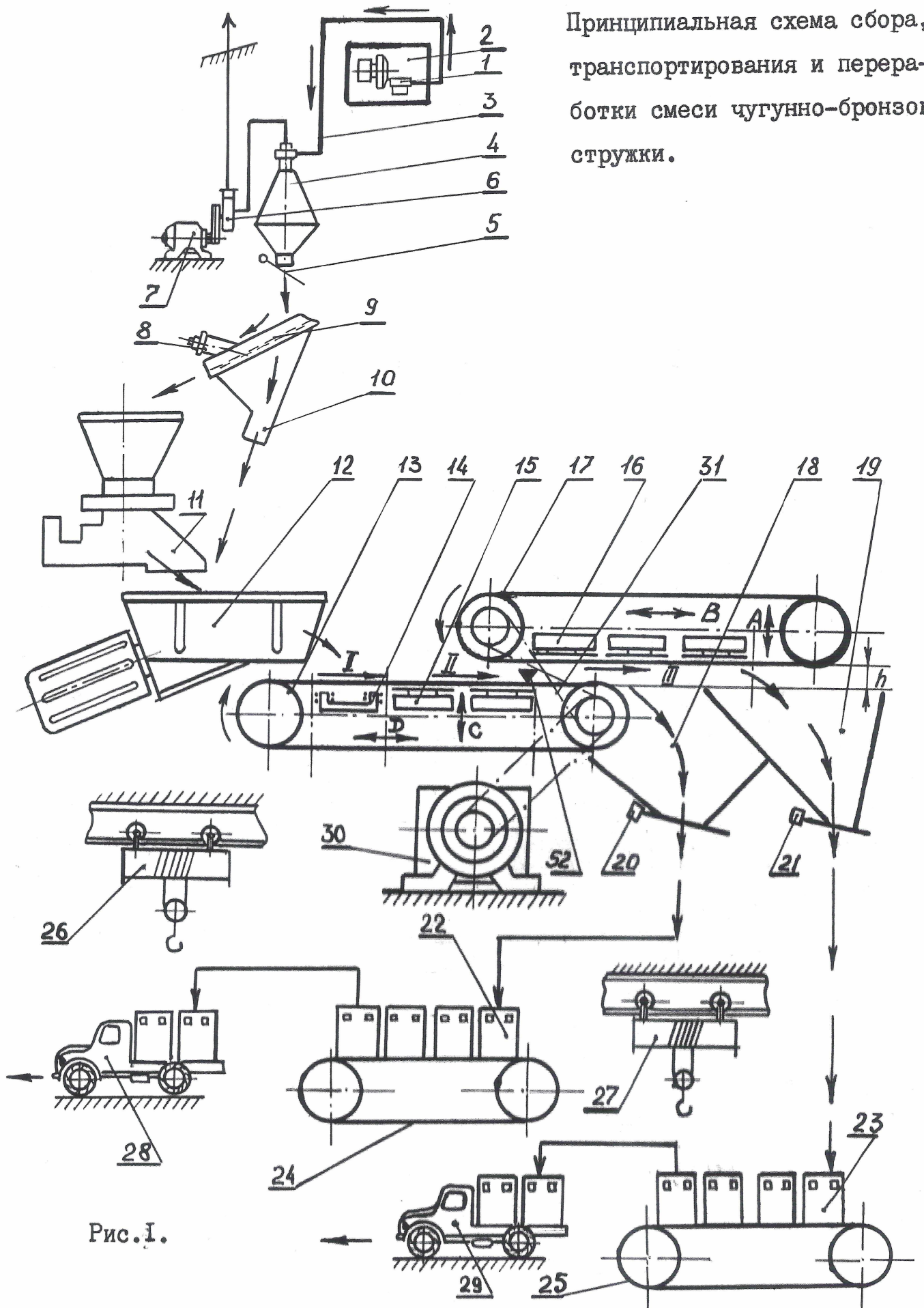
Сбор, транспортирование и магнитная сепарация
чугунно-бронзовой стружки.

Киев - 1984

Сбор, транспортировка и переработка металлической стружки на многих машиностроительных предприятиях являются трудоемкими и сложными операциями.

Одновременно необходима организация на предприятиях машиностроения единой системы удаления пыли и стружки из зоны резания, механизированное транспортирование их к месту сбора и брикетирования. Такое решение позволяет устранить безвозвратные потери металла (в связи с окислением, росыпью стружки и загрязнениями посторонними включениями); обеспечить экономию рабочей силы и транспорта; использовать производственные площади и металлоотходы в качестве сырья для дальнейшей переработки; повысить культуру производства и снизить травматизм.

Разработанная схема сбора, транспортирования и переработки смеси чугунно-бронзовой стружки представлена на рис. 1. Задача удаления пыли из стружки от режущих инструментов при выполнении операционных работ (наружное точение червячного колеса с бронзовым венцом и чугунной ступицей) решается довольно просто. Пылестружкоприемник 1 в виде патрубка, закрепленного в резцодержателе токарного станка 2 (или группы станков) и соединенного с отсасывающим устройством посредством гибкого металлорукава 1. Основными элементами отсасывающей установки являются: пылестружкоприемник 1, циклон 4 с клапаном-разгрузителем 5 автоматического действия, вентилятор среднего давления 6, электродвигатель 7 и система трубопроводов 3. Вентилятор 6 производительностью 1600 м³/час, циклон 3 с обратным конусом, электродвигатель 7 типа А52-2 мощностью 10 квт и частотой вращения 2880 об/мин. Отсасывающая установка вынесена за пределы цеха. Эффектив-



ность установки по удалению стружки из зоны резания составляет 95 % [1], а запыленность в рабочей зоне снижается до санитарных норм.

При открывании клапана-разгрузителя 5 смесь чугуно-бронзовой стружки из циклона 4 поступает на электровибрационный грохот 8. Мелочь чугуно-бронзовой стружки проваливается через сито 9 в бункер 10. Крупная чугуно-бронзовая стружка поступает равномерным потоком в трехступенчатую вертикальную стружкодробилку 12 типа ТСД /или ножевую стружкодробилку типа ТПЛ [2], обеспечивающую высокую эффективность захвата отдельных витков стружки и разрыва ее клубка, и имеющую несколько ступней разрушения стружки. Поэтому крупные витки стружки не проваливаются без дробления, что создает возможность перенастройки дробилки при переходе с одной марки стружки на другую, с обеспечением достаточной степени измельчения. Смесь чугуно-бронзовой стружки из бункера 10 и дробилки 11 поступает на вибропитатель 12, а затем тонким слоем на нижний ленточный конвейер 13. Чугунная стружка, проходя зоны намагничивания I /магнитная система постоянного тока 14/ и активизации II /магнитная система переменного тока 15/, отделяется от бронзовой стружки, затем движется во взвешенном состоянии в зоне III /магнитная система переменного тока 16/ конвейера 17 и попадает в бункер 19. Активизация чугуновой стружки в зоне II происходит за счет смены магнитных полей: с постоянного на переменное под действием коэрцитивной силы. Бронзовая стружка, проходя зоны намагничивания I и активизации II /конвейера 13/, отделяется от чугуновой стружки и попадает в бункер 18. Из бунке-

ров 18 и 19 бронзовая и чугунная стружки при открытых шиберах 20 и 21 попадает в саморазгружающиеся контейнеры 22 и 23. Контейнеры подаются под место загрузки и отводятся от него при помощи цепных конвейеров 24 и 25. Во время отвода наполненного контейнера и подачи пустого, шибера 20 и 21 перекрывают выход стружки из бункеров, что предотвращает просыпание стружки. Дозировка контейнеров происходит по весу. Под контейнером в месте загрузки расположено дозирующее устройство, которое посредством конечного выключателя подает питание на двигатель перемещения цепного конвейера.

Наполненные контейнеры 22 и 23 снимаются с конвейеров 24 и 25 при помощи тельферов 26 и 27, которые перемещаются по монорельсу "П" образной формы. Наполненные контейнеры заводским транспортом 28 и 29 выводятся за пределы цеха.

Основные параметры транспортно-технологического процесса сбора, транспортирования и переработки смеси чугунно-бронзовой стружки регулируются следующим образом: размеры фракции стружки - режимом резания станка 2; параметры вентилятора 6, циклона 4, клапана-разгрузителя 5, электровибрационного прохода 8, дробилки II, вибропитателя I2, конвейеров I3, I7, 24, 25, вариатора 30, шиберов 20 и 21, тельферов 26 и 27 - с пульта управления; зазор h между лентами конвейеров I3 и I7 - перемещением конвейера I7 по направлению А; смещение зон II и III - перемещением конвейера I3 по направлению Д; перемещивание потока смеси стружки рыхлителем 32 и перемещением груза электромагнитов I6 в плоскости, перпендикулярной плоскости транспортирования; напряженность электромагнитов I4, I5, I6 - величиной напряжения в системе

электропитания; магнитная сила F_m в зонах I, II, III - перемещением электромагнитов I4, I5, I6 по направлениям A, C.

В рассматриваемой схеме переработки чугуно-бронзовой стружки все технологические процессы полностью механизированы. Межоперационные процессы осуществляются трубопроводами, питателями, конвейерами и заводским транспортом. Промежуточные бункеры позволяют при кратковременном /1,5-2ч/ выходе из строя одного механизма продолжить работу остальных. Благодаря применению автоматического и непрерывно действующего технологического оборудования участок переработки стружки может работать по непрерывному автоматическому циклу. Управление всеми механизмами осуществляется с центрального пункта.

Форма элементной стружки, образующейся при различных условиях течения хрупких материалов /чугуна и бронзы/ играет большую роль при определении путей и способов непрерывного удаления стружки непосредственно от режущей кромки инструмента и служит основой для определения некоторых расчетных параметров - скоростей витания элементных стружек и объемной массы стружки.

Стружка надлома обычно представляет собой отдельные кусочки неправильной формы, полностью потерявшие взаимное молекулярное сцепление. Однако в момент образования в зависимости от конкретных режимов резания и физико-химических свойств обрабатываемого материала стружки надлома может сохранить определенную геометрическую форму и размеры благодаря механическому сцеплению отдельных частиц. Геометрическая форма и размер стружки оказывают значительное влияние на на-

правления, кинематическую энергию, дельность распространения потока и являются весьма важными факторами при определении параметров всасывания и транспортировки стружки по трубопроводам.

Форма стружки, отделяющейся при точении хрупких материалов /чугуна, бронзы/ на разных режимах резания различным инструментом, неодинакова. Наиболее характерные формы стружки: трубчато-спиральная /при режиме резания: подаче $S < 0,2$ мм/об, $\frac{S}{t} < 1$, где t - глубина резания, скорости резания $v = 50 \div 200$ м/мин/; полукольцевая / $S < 0,2$, $\frac{S}{t} < 1$, $v = 50 \div 200$ /; пластинчатая / $S > 0,3$, $\frac{S}{t} < 1$, $v = 50 \div 200$ /; призматическая длинная / $S > 0,4$, $\frac{S}{t} < 1$, $v = 50 \div 200$ /; сложная полукольцевая / $\frac{S}{t} < 1$, $v = 50 \div 200$ /; сложная пластинчатая / $\frac{S}{t} = 1$, $v = 50 \div 100$ /; призматическая короткая / $\frac{S}{t} > 1$, $v = 50 \div 100$ /.

Замечено [1], что при точении чугуна форма стружки вследствие больших включений графита менее правильна, чем при точении хрупких цветных сплавов /бронзы/.

Скорость витания v элементарной стружки /скорость восходящего воздушного потока в вертикальном трубопроводе, при которой элементарная стружка находится во взвешенном состоянии/, образующейся при точении чугуна и бронзы зависит от формы, размера и массы элементарной стружки. Чугунная стружка трубчатой формы массой 10 мг витает при скорости 6 м/сек; чугунная стружка полукольцевой формы большого диаметра массой 102 мг. находится во взвешенном состоянии при скорости 8 м/сек [1].

Объемную /насыпную/ массу стружки и пыли необходимо

знат ь для расчета емкости пылестружкосборника, а также для определения массовой или объемной концентрации пылестружко-воздушной смеси. Объемная /насыпная/ масса определялась с помощью мерной колбы и технических весов для смеси чугунно-бронзовой стружки и пылевых частиц, образующихся при точении червячного колеса на режимах резания, предусмотренных нормами /средняя насыпная масса равна $\gamma = 1500 \text{ кг/м}^3$ /.

Существенное значение имеет выбор напряженности магнитного поля для предварительной флокуляции смеси чугунно-бронзовой стружки перед сепарацией.

На эффективность магнитного разделения влияют динамические характеристики магнитных свойств стружки. Эти характеристики существенно отличаются от статических характеристик.

Указанные различия характеристик имеются в рассматриваемом сепараторе, где скорость движения частиц стружки на ленте через зону сепарации достигает несколько метров в секунду, а время их пребывания в магнитном поле составляет менее 10^{-2} секунд. В этих условиях намагничивание становится динамическим, и, следовательно, эффективные величины: \mathcal{L}_g - магнитная восприимчивость, \mathcal{M}_g - магнитная проницаемость, \mathcal{J}_g - намагниченность насыщения, будут ниже их статических значений. В результате падают магнитная сила и эффективность магнитного разделения.

Экспериментальные исследования [3] показали, что применение предварительного намагничивания путем установки дополнительного полюса перед зоной сепарации устраняет это нежелательное явление и повышает эффективность сепарации. При весьма быстрходных режимах сухой сепарации входная

часть длины рабочей зоны используется для "подмагничивания" груза и сепарации здесь не происходит. Сепарация в этом случае происходит только во второй половине длины рабочей зоны по ходу груза, что, конечно, снижает и эффективность.

Таким образом, скорость сепарации должна приниматься с учетом динамических характеристик груза, т.е. не превышать величин, связанных со снижением магнитных свойств.

Исследования [1] показывают, что в результате предварительной магнитной обработки сепарируемого груза увеличивается качество разделенных материалов и уменьшаются потери ценных грузов. Причем в зависимости от того, в каком месте потока сепарируемого груза располагается дополнительное магнитное поле предварительной обработки, эффективность разделения смеси стружки повышается.

Для выявления закономерностей предварительной магнитной обработки смеси чугуно-бронзовой стружки проследим ее прохождение в магнитном поле постоянного тока системы I4 /см.рис.1/. Поток смеси стружки характеризуется: а/ равномерным распределением твердой фазы по сечению, б/ однородностью, в/ относительно тонким слоем в различных точках конвейера, г/ шириной потока, соответствующего ширине магнитной системы I4, д/ скоростью несущего органа /ленты/ конвейера I3, е/ некоторым средним значением пульсаций скорости $\overline{\Delta v_n}$, направление которых случайно и в среднем равно нулю.

Скорость тягового органа /ленты/ v_n^0 рассматриваемого устройства регулируется в широком диапазоне, чтобы можно было создать перемещение твердой фазы смеси чугуно-бронзовой стружки равномерным тонким слоем. Существует тесная вза-

ИМОСВЯЗЬ

$$\Delta \bar{V}_n = f(V_n). \quad /1/$$

Когда поток смеси чугуно-бронзовой стружки попадает в магнитное поле системы I4, которое для простоты рассуждений предположим равномерным и достаточно сильным /порядка 2700 эрстед/, то флокуляция сильномагнитной фракции происходит практически мгновенно. По мере движения смеси стружки в магнитном поле никаких дополнительных изменений в ее структуре не происходит. Произведем оценку свойств образовавшейся флокулы.

Размеры флокулы определяются ее длиной, так как тело флокулы близко к эллипсоиду вращения, и вторая короткая ось изменяется пропорционально длине [4] $\lambda = \frac{a}{b} \approx 2$, где a , b - длинная и короткая оси флокулы. Прочность флокулы определяется силой осевого сжатия $F_{ос.}$, зависящей от магнитной восприимчивости смеси частиц, составляющих флокулу χ_p , размагничивающего фактора N и напряженности внешнего магнитного поля в области флокулы H_e :

$$F_{ос} = \frac{K \rho_0 \rho_p^2 H_e^2}{a(1 + \chi_a N_a)}, \quad /2/$$

где

$$K = \frac{K_1 \pi \psi^2}{6},$$

ψ - коэффициент заполнения объема флокулы частицами,

K_1 - коэффициент, учитывающий условное расположение магнитных масс половинок флокулы;

ρ_p - плотность флокулы;

a - длинная ось флокулы.

При выходе из магнитного поля сила осевого сжатия умень-

шается, и флюкулы под действием пульсаций скорости смеси стружки и движущей силы ленты конвейера начинают разрушаться. Противодействие этому разрушению оказывает коэрцитивная сила частиц чугуновой стружки H_c . Разрушающая сила может быть определена из выражения [4]

$$F_{II} = \frac{3 \delta_b C_L \Delta v_n^2}{4 \delta_{\varphi} a}, \quad /3/$$

где

C_L - коэффициент лобового сопротивления;

δ_b - плотность смеси чугуново-бронзовой стружки.

Под действием силы F_{II} флюкула может быть повернута относительно вектора внешнего магнитного поля, затем она снова ориентируется вдоль вектора H_c , т.е. на концы флюкулы действует сила внешнего магнитного поля F_M , которая поворачивает ее ось легкого намагничивания вдоль вектора H_c . Этому повороту противодействует сила трения в смеси F_C . Условие равновесия флюкулы можно теперь записать в виде равенства

$$F_{OC} \cdot v = (F_M - F_C - F_{II}) a,$$

где [1] $F_C = \frac{18 m U_{\varphi}}{\delta_{\varphi} a^2}, F_M = \frac{2 \mu_0 H_c^2 (\chi_a - \chi_b) d_n}{a \delta_{\varphi}},$

m - коэффициент сопротивления движению флюкулы,

U_{φ} - линейная скорость конца флюкулы,

χ_b - магнитная восприимчивость вдоль короткой оси флюкулы,

α_n - угол поворота флюкулы.

Решение уравнения относительно a дает возможность оценить размер флюкулы при движении чугуново-бронзовой стружки в постоянном равномерном магнитном поле и определить на-

чальный размер ее перед процессом разрушения под действием движущей силы ленточного конвейера им при отсутствии магнитного поля. При выходе флюкулы из магнитного поля она сохраняет форму исключительно под действием коэрцитивной силы, и условия равновесия можно записать в виде

$$F_{ос} \cdot v = (F_H - F_c) a \quad (5)$$

Уровень пульсации, необходимый для разрушения флюкулы, прямо пропорционален коэрцитивной силе, удерживающей частицы чугуновой стружки друг с другом.

Величина H_c зависит от того, в каком по значению внешнем магнитном поле H_e побывала она, и чем больше H_e , тем больше H_c (рис.2), а затем H_c стремится к постоянному значению H_{cm} , когда $H_e \rightarrow \infty$. Эмпирически зависимость $H_c = f(H_e)$ можно записать формулой

$$H_c = H_{cm} \left(1 - e^{-RH_e} \right), \quad (6)$$

где R - эмпирический коэффициент.

Оценим теперь, каким образом происходит разрушение флюкул. В центробежном поперечном сечении флюкулы и наибольшей степени сказывается эффект размагничивания. Под действием пульсаций флюкула разламывается на две половинки. Затем каждая половинка снова разбивается на две части и т.д. до тех пор, пока размеры флюкулы не приблизятся к размерам отдельных частиц, которые можно охарактеризовать крупностью \bar{d} . Количество циклов деления флюкулы находится из очевидного соотношения [5]

$$\frac{a}{2^{n_{ф}}} = \bar{d}, \quad (7)$$

которое записано на основании сформулированной кинетики разрушения флокулы, т.е.

$$n_{\text{фр}} = \frac{\ln \frac{a}{d}}{\ln 2} \quad /8/$$

Определим теперь время, в течение которого разрушается флокула $t_{\text{фр}}$. Цикл разрушения произойдет в том случае, если будет хотя бы один импульс выше уровня $\Delta v_{\text{п}}$. Известно [6], что среднее время между двумя соседними импульсами выше уровня $\Delta v_{\text{п}}$ составит $t_2 = v_{\text{н}}^{-1}$, где $v_{\text{н}}^{-1}$ - среднее число выбросов в единицу времени за заданный уровень.

Пульсация скорости смеси стружки подчиняется большей частью нормальному закону, а значит, величина $v_{\text{н}}$ может быть оценена выражением [6]

$$v_{\text{н}} = \frac{\sigma_v}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\text{н}}} \cdot e^{-\frac{\Delta v_{\text{п}}^2}{2 \sigma_{\text{н}}^2}}, \quad /9/$$

где $\sigma_{\text{н}}$, σ_v - средние квадратичные отклонения скорости смеси стружки и скорости изменения этой скорости соответственно,

$$\sigma_v = \frac{-d^2}{d\tau^2} \cdot K_{\text{нн}}(\tau), \quad /10/$$

где $K_{\text{нн}}(\tau)$ - корреляционная функция пульсации скорости;
 τ - время.

Функция $K_{\text{нн}}(\tau)$ может быть найдена только на основании экспериментальных данных.

С учетом [9] и [10] можно определить

К определению функции

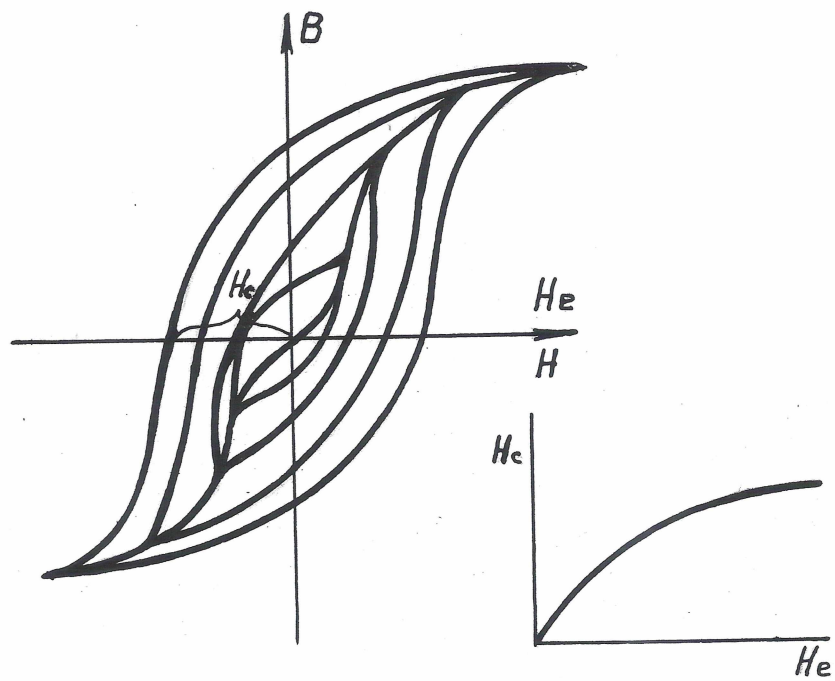


Рис. 2.

Зависимость расстояния разрушения флокул пульсациями от напряженности внешнего магнитного поля.

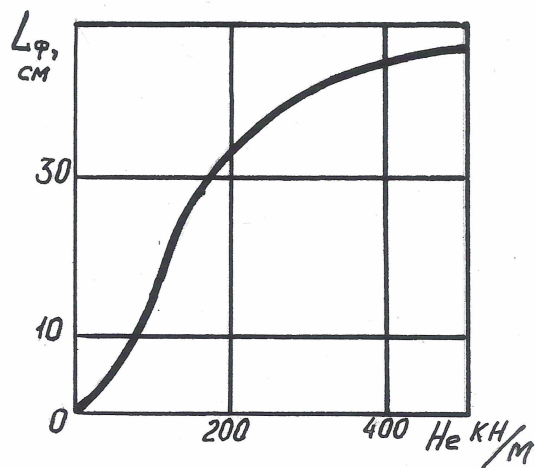


Рис. 3.

$$t_2 = \frac{2\pi \sigma_u e^{\left(\frac{-\Delta v_n^2}{2\sigma_n^2}\right)}}{K_{nn}'' (\bar{\epsilon}_0)} \quad /III/$$

Среднее время разрушения флюкул

$$t_{\varphi} = n_{\varphi} \cdot t_2.$$

Исследованиями [5] получена зависимость расстояния разрушения флюкул в функции скорости /рис.3/ $L_{\varphi} = f(v_n)$.

Величина L_{φ} рассчитывается, как $L_{\varphi} = \bar{v}_n \cdot t_{\varphi}$ и определяет максимальное расстояние, когда эффект магнитной агитации еще проявляет себя. Для увеличения этого эффекта следует магнитную систему, агитирующую смесь стружки, располагать на расстоянии, меньшем L_{φ} .

Эффективность рассматриваемого транспортно-технологического процесса по сбору, транспортированию и переработки смеси чугунно-бронзовой стружки очевидна, так как основные выше указанные параметры комплекса регулируются в широких пределах.

Дальнейшее более глубокое изучение режимов резания с целью получения стружки определенной фракции, особенности ее поведения в процессе улавливания в зоне резания, в магнитном поле сепаратора и влияние магнитного поля на среду, в которой происходит разделение, позволит получить высокоэффективное и качественное разделение смеси чугунно-бронзовой стружки.

Надежность стружкоуборочного и перерабатывающего оборудования зависит от многих факторов: условий работы, особенности конструкции, технологии изготовления, материала и т.д. Необходимо провести качественный анализ причин отказов оборудования; выбрать методику определения характеристики

надежности оборудования в конкретных условиях эксплуатации. Исследовать надежности конвейеров или стружкодробилки можно рассматривая характеристики надежности отдельных элементов оборудования целиком как восстанавливаемое изделие, т.е. не исследуя частные потоки отказов отдельных элементов. Предварительное исследование элементов комплекса может оказаться очень полезным для инженерно-технического персонала служб надежности и отделов технического контроля, ответственных в первую очередь за качество и надежность оборудования по сбору, транспортирования и переработке стружки.

Литература.

1. Власов А.Ф. Удаление пыли и стружки от режущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1982.
2. Тихонцов А.М. Вспомогательное оборудование механических цехов. - Киев-Донецк.: Высшая школа, 1982.
3. Кармазин В.В. О возможности интенсификации магнитного обогащения. В сб.: Теория и практика электрических и магнитных методов сепарации полезных ископаемых. - М.: Наука, 1968.
4. Кармазин В.В. Некоторые закономерности магнитной флокуляции тонкодисперсных сильномагнитных материалов. - В кн.: Электрические и магнитные методы сепарации. 1965, с.79-94.
5. Младецкий И.К., Султанович Е.А. Выбор напряженности магнитного поля для предварительной флокуляции магнетика перед сепарацией. - Обогащение полезных ископаемых. Респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев: Техніка, 1982, с.58-63.

6. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. - М.: Наука, 1968, 468с.

Печатается в соответствии с решением
Совета факультета "Машины и аппараты пищевых производств"
протокол № 6 от 17 февраля 1984 года.