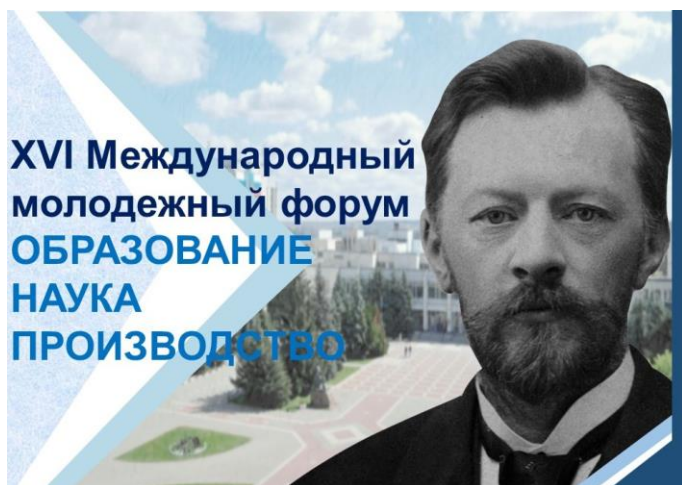


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 8

**Технологические комплексы, оборудование
предприятий строительных материалов, стройиндустрии
и горного дела**

Белгород

30-31 октября 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**XVI Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»
[Электронный ресурс]:**
М 43 Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 8. – 80 с.

ISBN 978-5-361-01390-6

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XVI Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство». Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01390-6

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

Карачевцева А.В., Анциферов С.И.

*Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ТЕПЛООБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Вращающаяся печь — это устройство, используемое для обжига материалов при высоких температурах. Это длинный горизонтальный цилиндр с определенным наклоном относительно своей оси. Материал внутри печи нагревается до высоких температур, для происхождения химических реакций. Таким образом, вращающаяся печь по сути является теплообменником, из которого энергия из горячей газовой фазы передается слою материала.

Вращающиеся печи используются для выполнения широкого спектра операций, таких как восстановление оксидной руды, переработка гашеной извести, обжиг нефтяного кокса и переработка опасных отходов, однако они гораздо более широко известны своей большой ролью в цементной промышленности как основным оборудованием для производства цемента [1,2].

Вращающаяся цементная печь является одним из главных составляющих для крупномасштабного промышленного производства цемента. В этом процессе материал непрерывно нагревается по всей длине печи [3,4].

Вращающаяся печь обычно представляет собой цилиндрический стальной корпус, футерованный огнеупорами, также корпус оборудован горелкой. Горелка выделяет достаточно энергии для термической обработки. Внутри вращающейся печи осуществляется непрерывный процесс, в котором происходит выполнение последовательности различных операций: загрузка материала, его нагрев, вращение корпуса с материалом и последовательное перемещение по всей длине печи от холодного конца к горячему.

В процессе эксплуатации корпус подвергается воздействию высоких температур, что приводит к повреждению футеровки и её уменьшению. Замена или ремонт огнеупорной футеровки в зонах с повышенной температурой становится неотложной задачей, так как падение огнеупорных кирпичей снижает теплоизоляцию и вызывает расширение.

Снаружи и внутри корпуса вращающейся печи, устанавливают теплообменные устройства. Во вращающейся печи мокрого способа

производства цемента теплообменные устройства занимают около 50 % длины печи.

Первый вид теплообменных устройств цепные завесы располагаются внутри вращающейся печи, для того чтобы улучшить процесс сушки и теплообмена, который происходит между обжигаемым материалом и газовым потоком. Шлам должен выходить с влажностью около 12 %. Цепные завесы различаются по типу от подвеса на два вида, свободновисящие и гирляндные навески, первые подвешиваются в одной точке цепи, вторые подвешиваются в двух точках цепи [5].

Выбирают вид цепной завесы в зависимости от свойств сырья, которые необходимо получить. Свободновисящие завесы лучше использовать в том случае, если сырье не образует гранулы, а если сырье образует гранулы и сохраняет их, то лучше использовать гирляндную цепную завесу. Температура материала при гирляндной завесе соответствует примерно 95°C, а влажность 5%.

Также иногда в печах мокрого способа производства устанавливают ячейковые теплообменники, а также керамические теплообменники. Ячейковые теплообменники вращающейся печи состоят из перегородок, которые располагаются вдоль длины корпуса, под углом 60°, для того чтобы повысить эффективность теплообмена. Керамические теплообменники устанавливают приблизительно в зоне декарбонизации, где температура потока равна примерно 1400 °C, расположение такого теплообменного устройства обеспечивает наиболее лучший теплообмен в печи, и увеличивает производительность обжигового агрегата. Керамический теплообменник выполняет роль декарбонизатора.

Теплообменники, которые наиболее часто используют в основном цепная завеса. В местах где располагают теплообменники материал с определенной скоростью продвигается вдоль печи замедляется, из-за чего увеличивается заполнение печи материалом, в следствие чего увеличивается поверхность теплообмена, и улучшается смешивание материала. Также разница температур между материалом, подвергаемым обжигу и газом, и также между теплообменными устройствами и материалом, улучшает процесс интенсификации теплообмена.

Установка теплообменных устройств на печи должна способствовать улучшению интенсивного теплообмена, также они обеспечивают продвижение материала вдоль печи, понижая сопротивление газовому потоку, предотвращая износ цепей.

Теплообменные устройства вращающихся печей играют ключевую роль в обеспечении наиболее эффективного выполнения

производственных процессов. Их конструкция и принцип работы позволяют достигать высоких температур и обеспечивать равномерный теплообмен, что играет большую роль во многих отраслях [6].

Теплообменное устройство можно устанавливать на любой вращающейся печи с мокрым или сухим способом производства цемента и с любыми габаритами, с минимальными материальными затратами, что повысит производительность и снизит удельный расход топлива [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Liu.X. A simplified model to calculate the power draw for material movement in industrial rotary kilns / X. Liu, X. Xu, W. Wu, F. Herz, E. Specht // Powder Technol. — 2016. — № 301. — P.1294–1298.

2. Богданов В.С. Основы расчёта машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий / В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, Ю.М. Фадин, И.А. Семикопенко, Н.П. Несмеянов, В.Б. Герасименко // Старый Оскол: ТНТ. — 2012. — 680 с. — ISBN 978-5-94178-355-7.

3. Geng. F. Experimental study on the space times of flexible filamentous particles in a rotary dryer / F. Geng, Y. Li, L. Yuan, X. Wang, Z. Yuan, Y. Yan, D. Luo // Exp. Therm. Fluid Sci. — 2013. — Vol. 44. — P. 708–715.

4. Анциферов С.И. Современные конструкции теплообменных устройств вращающихся печей / С.И. Анциферов, К.А. Шапошникова, А.В. Карачевцева, А.Н. Сысоев, С.В. Медведев // Машины, агрегаты и технологические процессы в строительной индустрии: Сборник докладов IV Национальной конференции. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. — 2023. — С.18-22.

5. Нестеренко. В.З. Об оптимальном режиме работы цепной завесы вращающейся печи / В.З. Нестеренко, И.Г. Моспан // Цемент. — 1974. — № 6.

6. Василик Г.Ю. Цементная промышленность России в 2018 году/ Г.Ю. Василик, Е.М. Еремина // Цемент и его применение. — 2018. — № 6. — С.22–33.

7. Коновалов В.М. Повышение эффективности тепломассообменных процессов в производстве цемента / В.М. Коновалов, С.А. Перескок, М.А. Петрова, А.Н. Образумов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. — 2016. — №4. — С.176-181.

Фесенко Е.Е.

*Научный руководитель: Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ФИЛЬТРУЮЩАЯ ЦЕНТРИФУГА И РАСЧЁТ ЕЁ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Одним из самых популярных методов разделения жидких смесей, содержащих неоднородные компоненты, под воздействием центробежных сил является центрифугирование. Этот процесс происходит в специальных устройствах, которые называются центрифугами..

Центробежное фильтрование — это метод разделения суспензий в центрифугах с перфорированными барабанами. (Рис. 1.) Внутренняя поверхность такого барабана покрыта специальным материалом, который служит фильтром. Суспензия под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам барабана. Твёрдые частицы остаются на поверхности фильтра, а жидкость проходит через слой осадка под действием центробежной силы. Затем жидкость проходит через фильтр и удаляется через отверстие в барабане.

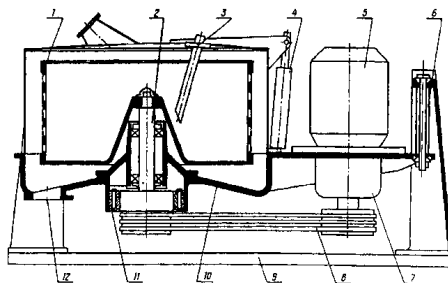


Рис. 1 – Центрифуга с верхней выгрузкой осадка:

- 1 – ротор; 2 – вал; 3 – питатель; 4 – механизм подъёма; 5 – электродвигатель; 6 – колонны; 7 – гидромуфта; 8 – клиноременная передача; 9 – фундаментная плита; 10 – станина; 11 – тормоз; 12 – сливной штуцер

Процесс включает три последовательных этапа: фильтрацию, в результате которой образуется осадок, уплотнение осадка и удаление из него жидкости, удерживаемой молекулярными силами. [1].

Полный расход энергии вертикальных фильтрующих центрифуг периодического действия в пусковой период включает затраты мощности на раскручивание ротора центрифуги (P_p), суспензии (P_c) и взаимодействие вращающегося ротора с воздухом (P_v).

Работа на разгон ротора Q_p (в Дж), равная приобретенной им кинетической энергии, определяется по формуле [2]

$$Q_p = \frac{m_p \cdot \omega^2 \cdot R^2}{2}, \quad (1)$$

где m_p – масса ротора, кг; $m_p = 134$ кг

ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с [1];

R – внутренний радиус ротора, м; $R = 0,4$ м.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (2)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с};$$

$$Q_p = \frac{134 \cdot 157^2 \cdot 0,4^2}{2} = 264237,28 \text{ Дж} \approx 264,24 \text{ кДж},$$

Мощность (в кВт) на раскручивание ротора

$$P_p = \frac{Q_p}{\tau_n}, \quad (3)$$

где τ_n – продолжительность пускового периода, с.

Продолжительность пускового периода, согласно опыту эксплуатации, составляет от 60 до 180 секунд. Для расчёта $\tau_n = 180$ с [3].

$$P_p = \frac{264,24}{180} = 1,468 \text{ кВт}$$

Работа раскручивания суспензии Q_c (в Дж) определяется по формуле [2]

$$Q_c = \frac{\pi \cdot L \cdot \omega^2 \cdot \rho_c \cdot (R^4 - R_0^4)}{4}, \quad (4)$$

где L – длина ротора, м; $L = 0,4$ м;

ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с; $\omega = 157$ рад/с.

ρ_c – плотность суспензии, кг/м³; $\rho_c = 1563$ кг/м³;

R – внутренний радиус ротора, м; $R = 0,4$ м;

R_0 – внутренний радиус кольцевого слоя суспензии в роторе, м

Часто центрифуги работают с заполнением ротора на 50%. При этом условии можно получить:

$$R_0 = \sqrt{0,5 \cdot R} \approx 0,71 \cdot R, \quad (5)$$

тогда $R_0 = \sqrt{0,5 \cdot 0,4} = 0,2828 \text{ м.}$

$$Q_c = \frac{3,14 \cdot 0,4 \cdot 157^2 \cdot 1563 \cdot \left(0,4^4 - 0,2828^4\right)}{4} = 232314,6381 \text{ Дж} \approx 232,31 \text{ кДж.}$$

Мощность (в кВт) на раскручивание суспензии

$$P_c = \frac{Q_c}{\tau_n}, \quad (6)$$

тогда $P_c = \frac{232,31}{180} = 1,291 \text{ кВт.}$

Мощность на взаимодействие вращающегося ротора с воздухом (в Вт) [2]

$$P_\theta = 10^{-3} \cdot \xi \cdot \omega^2 \cdot R_n^4 \cdot \rho_\theta \cdot L, \quad (7)$$

где 10^{-3} - коэффициент, учитывающий овальность барабана;

ξ - коэффициент местного сопротивления. На основе практических данных $\xi = 0,5 \dots 0,6$. Принимаем $\xi = 0,5$;

ω - угловая скорость вращения ротора, рад/с; $\omega = 157 \text{ рад/с}$;

R_n - наружный радиус ротора, м; $R_n = 0,412 \text{ м}$;

ρ_θ - плотность воздуха, кг/м³. $\rho_\theta = 1,23 \text{ кг/м}^3$;

L - длина ротора, м; $L = 0,4 \text{ м}$;

$$P_\theta = 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 157^2 \cdot 0,412^4 \cdot 1,23 \cdot 0,4 = 0,175 \text{ Вт.}$$

Полная пусковая мощность [2]

$$P_{\text{пуск}} = P_p + P_c + P_\theta, \quad (8)$$

$$P_p = 1,468 \text{ кВт}; P_c = 1,291 \text{ кВт}; P_\theta = 0,000175 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{пуск}} = 1,468 + 1,291 + 0,000175 = 2,759175 \text{ кВт.}$$

Принимая 10...20% запас мощности и учитывая КПД передаточного устройства η_n , расчётная установочная мощность электродвигателя для центрифуги составит

$$P_{\text{уст}} = \frac{(1,1 \dots 1,2) \cdot P_{\text{пуск}}}{\eta_n}, \quad (9)$$

$$P_{уст} = \frac{1,1 \cdot 2,759175}{0,7} = 4,336 \text{ кВт.}$$

Рассмотренные в статье конструктивные особенности центрифуги и расчёты показывают, что такое оборудование является высокопроизводительным и малоэнергоёмким.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической технологии. / А.Н. Плановский — 5-е изд., стер. — Москва: Химия, 1968 — 848 с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник. [В 2 кн.]. Кн. 1 / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров [и др.]; Под ред. В.Г. Айнштейна. — Москва : Логос; Высшая школа, 2003. — 912с.
3. Машины и аппараты химических производств и нефтепереработки: учебник для вузов / А.С. Тимонин, Г.В. Божко, В.Я. Борцев, [и др.] / под общей редакцией А.С. Тимонина. — Калуга: Издательство «Ноосфера», 2017. — 948 с.

УДК 691.5:658.27

Богданов В.С., Бражник Ю.В., Камбур А.С., Оноприенко Ю.С., Исса Ю.М.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ РОТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

В настоящее время строительные смеси на Российском рынке занимает достаточно высокие позиции и по данным агентства Symbol-Marketing, эти позиции будут только укрепляться. В поддержку таких прогнозов может говорить тот факт, что за последние годы темпы строительства увеличились, в среднем, на 10%.

Смесительный узел по праву считается наиболее ответственным участком завода по производству сухих строительных смесей. Следовательно, работа смесительного оборудования является важнейшим шагом на пути получения высококачественного продукта.

Поэтому создание смесителей, как важнейшего оборудования в технологической цепочке, более совершенной конструкции с

минимизацией потребляемых ресурсов и увеличения номенклатуры выпускаемой продукции на единичном оборудовании является наиболее актуальной задачей.

Процесс смешения сыпучих материалов является сложным механическим процессом, механизм действия которого зависит главным образом от конструкции смесителя. Складывается он из следующих элементарных процессов:

1. конвективного смешения - перемещения больших группы смежных частиц из одного места смеси в другое внедрением, вмятием, скольжением слоев;

2. диффузионного смешения - постепенного перераспределения частиц различных компонентов в микрообъемах через образованную границу их раздела;

3. сегрегации - сосредоточения частиц, имеющих одинаковую массу, в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (образование застойных зон).

При перемешивании сыпучих материалов в смесителе одновременно протекают все три элементарных процесса. Однако доля их влияния в различные периоды смешения неодинакова.

Чаще всего кинетику процесса смешивания [1] можно описать следующим уравнением:

$$V_c(t) = a \cdot V_{сн} \cdot e^{-b \cdot t} \quad (1)$$

где $V_c(t)$ - коэффициент неоднородности в конкретный момент времени t , (%);

$V_{сн}$ - коэффициент неоднородности в начальный момент времени t , (%);

a, b - коэффициенты, определяемые экспериментально;

t - время смешивания, (с).

Графически, кривая кинетики процесса смешивания сыпучих материалов представлена на рисунке 1.

Процесс сегрегации по своему действию на смесь противоположен первым двум процессам: он приводит к разделению смеси на отдельные фракции или компоненты, ухудшая ее качество [2].

В начальный момент времени работы смесителя (рис. 1., зона I) распределение частиц в объеме осуществляется в основном за счет конвективного разноса компонентов. В это время процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Поверхность раздела между разнотипными компонентами еще невелика, поэтому доля процесса диффузионного смешения, идущего к тому же с небольшой скоростью, в общем процессе смешения невелика. Процесс конвективного смешения в этот момент идет с большой скоростью, что видно из

графика (рис. 1.).

На участке конвективного смешения скорость процесса почти не зависит от физико-механических свойств смеси, так как процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Главное влияние на скорость процесса смешения в эти моменты времени оказывает характер движения потоков частиц в смесителе.

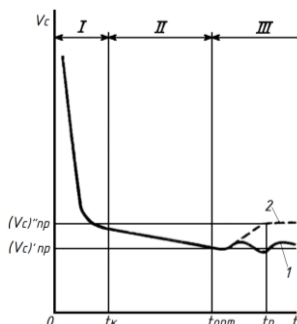


Рис. 1 – Кривая кинетики процесса смешивания сыпучих материалов.

После того как компоненты в основном будут распределены по рабочему объему смесителя, процессы конвективного и диффузионного смешения становятся по их влиянию на общий процесс смешения равнозначны. В это время процесс перераспределения частиц идет уже на уровне микрообъемов. Начиная с некоторого момента, процесс диффузионного смешения становится преобладающим (рис. 1., зона II). Более заметное влияние на ход процесса смешения начинает оказывать сегрегация частиц. Два противоположных процесса: сегрегация и диффузионное смешение могут в определенный момент времени, зависящий от конструкции смесителя и физико-механических свойств смеси, уравниваться. После этого момента дальнейшее перемешивание компонентов смеси не имеет смысла, так как качество смеси остается постоянным (рис. 1., зона III). В некоторых случаях указанное равновесие противоположных процессов наступает несколько позже того момента, когда качество смеси было наилучшим. Этому случаю соответствует пунктирная кривая 2. В первом случае (рис. 1., кривая 1) время наступления равновесия t_p совпадает со временем достижения наилучшего качества смеси $t_{онм}$, во втором же (рис. 1., кривая 2) $t_p > t_{онм}$.

Скорость перераспределения отдельных частиц (рис. 1., зона II и III) зависит не только от характера движения потока материала в смесителе, но и от физико-механических свойств частиц: их размера,

состояния поверхности, веса, относительного веса, адгезионных сил и т. п. По этой причине скорость диффузионного смешения для различных смесей в одном и том же смесителе будут отличаться, как неодинаковы значения t_p и $t_{опт}$.

Таким образом, наиболее предпочтительнее рассматривать смесительное оборудование с точки зрения режимов смешивания, которые характеризуются скоростью и временем протекания процессов конвекции, диффузии и сегрегации.

Являясь наиболее перспективными в плане исследования смесители с высокоскоростным режимом работы являются машинами с высокоуровневым воздействием на смешиваемый материал и характеризуются воздействием на смешиваемый материал при скоростях движения рабочего органа от 5 м/с [3] и выше при:

$$3 < F_R < 9 \quad (2)$$

где F_R - критерий Фруда;

В первую очередь к таким смесителям относятся роторные смесители с вертикальным или наклонным расположением смесительного вала.

В смесителях этого типа использован принцип перевода сыпучего материала в псевдооживленное состояние с помощью быстровращающегося ротора.

В смесителях с быстровращающимися роторами возникает эффект псевдооживления порошкообразных материалов, основанный на том, что при большой скорости движения частиц кинетическая энергия отдельной частицы оказывается больше работы, необходимой для преодоления сопротивления сил трения и сил тяжести. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность [4,5], и движение ансамблей частиц оказывается подобным движению частиц жидкости, что позволяет сократить время смешивания и получить более качественный продукт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12/М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: «Машиностроение», 2004. – 832 с.; ил.
2. Макаров, Ю.И. Отечественное и зарубежное оборудование для смешивания сыпучих материалов/ Ю.И. Макаров, Б.М. Ломакин, В.В. Харакоз // - М.: «Машиностроение», 1964. – 86 с.
3. Телешов А.В., Сапожников В.А. Производство сухих

строительных смесей. Критерии выбора смесителя// Строительные материалы. – 2000. №1. – с. 10-12.

4. Несмеянов Н.П. Анализ работы смесителей для производства сухих строительных смесей / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Смирнов Д.В., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2021. - Вып. XX. С.143-147

5. Несмеянов Н.П. Состояние вопроса приготовления строительных смесей в настоящее время / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Оноприенко Ю.С., Котышев А.В // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2022. - Вып. XXI. С.286-289

УДК 679.7.022.17

Бражник Ю.В., Мусаелян В.Л., Науменко В.В.

Научный руководитель: Несмеянов Н.П, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ПРЕСС-ВАЛКОВОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ

Разные отрасли промышленности, включая строительство, оказывают значительное влияние на развитие любой страны. В нашей стране производится большое количество строительных материалов, таких как железобетонные изделия, силикатный и керамический кирпич, асбестоцементные изделия и многие другие. Одним из основных видов продукции в этой сфере является цемент. В 2024 году годовой выпуск цемента в России составил 37,139 млн тонн. Портландцемент используется преимущественно для производства бетонных и железобетонных изделий, в дорожном, гидротехническом и монолитном строительстве (в условиях нормальной среды). Это указывает на необходимость создания промышленных комплексов с современным и дорогостоящим оборудованием для удовлетворения потребностей строительного рынка.

В связи с этим машиностроение во всем мире продолжает развиваться, создавая новые агрегаты и улучшая уже существующие. Каждый год высшие учебные заведения выпускают квалифицированных специалистов, которые идут работать на

предприятия или в проектные организации. Ведутся также научные исследования, направленные на поиск новых способов развития машин и оборудования.

При производстве цемента ключевую роль играет процесс измельчения клинкера с добавками, поскольку качество и показатели готового продукта во многом зависят от этого процесса. Измельчение выполняется с использованием различных типов оборудования, таких как шаровые мельницы, вертикально-валковые мельницы и пресс-валковые измельчители, причем каждое из них имеет широкий ассортимент конструктивных решений и показателей производительности.

Пресс-валковый измельчитель (ПВИ) используется в производственных системах для измельчения как сырьевых, так и техногенных материалов (например, углесодержащих пород, шлаков и др.).

Пресс-валковый измельчитель (рис. 1) представляет собой конструкцию, которая состоит из следующих основных узлов: двух валков 4 (валок подвижный и валок неподвижный), демпферов 2, привода 5 (редуктор, электродвигатель, муфты), рамы 1, загрузочного устройства 3 и маслосистемы 6.

Одним из путей повышения эффективности работы прессвалкового измельчителя является создание конструкции валков с высокой износостойкостью [5] и возможностью быстрой замены при выходе из строя как самого валка, так и выборочно дробящих тел.

Для этого был проведен анализ технической и патентной литературы. После проведения анализа различных типов валков было предложено техническое решение (рис. 2, рис. 3) [3,4].

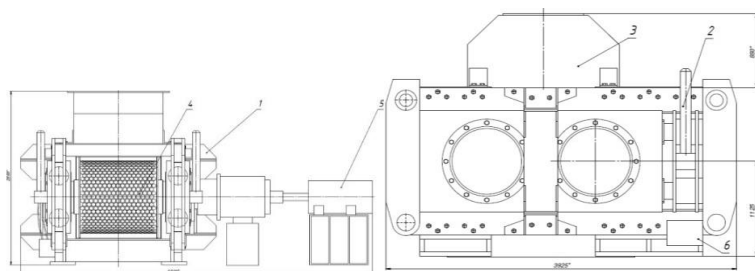


Рис. 1 – Пресс-валковый измельчитель

1 – рама; 2 – демпфер; 3 – загрузочное устройство; 4 – валок в сборе;
5 – привод; 6 маслосистема

Для обеспечения наиболее высокого срока службы пресс-валка, а

также увеличения эффективности измельчения предлагается следующая конструкция валак пресс-валкового измельчителя. Рабочий орган ПВИ (рис. 2) содержит вал 3, стоящий на сферических роликоподшипниках 2, которые в свою очередь устанавливаются в корпусах 4, имеющих возможность радиального перемещения вала на раме машины. Это необходимо для монтажа и демонтажа валков, а также замены износившихся дробильных тел. В процессе работы подвижный валок имеет возможность данного смещения для регулировки зазора между валками для максимально эффективной работы. Перемещение подвижного вала производят с помощью гидроцилиндров, установленных на раме ПВИ. Подшипники с одной из сторон фиксируются стопорным кольцом 5 и закрываются крышками 6, 7, 8 с уплотнением 11 и фиксируются винтами 12, 13.

На валу расположен валок с бандажом 1, в свою очередь бандаж выполнен в виде сборочной единицы, состоящей из бандажа и дробильных тел, расположенных друг к другу под углом в 45° из высокопрочной и износостойкой стали, закреплённых с помощью болтов 16. Кроме того, на неподвижном валке устанавливаются реборды 10 с помощью винтов 13, для удерживания измельчаемого материала в зоне измельчения валков, что способствует равномерному распределению высокого давления по всей ширине валков и, соответственно, повышению производительности измельчения материала.

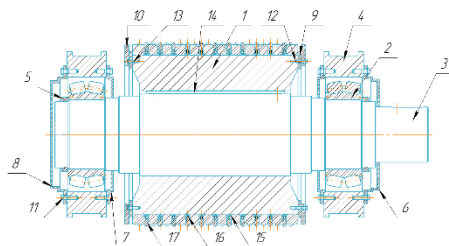


Рис. 2 – Валок в сборе:

- 1 – валок, 2 – сферический роликоподшипник, 3 – вал,
- 4 – корпус подшипника, 5 – кольцо стопорное,
- 6 – крышка внешняя сквозная, 7 – крышка внутренняя сквозная,
- 8 – крышка глухая, 9 – фланец, 10 – реборда, 11 – уплотнение,
- 12, 13 – винт, 14 – шпонка, 15 – шайба, 16 – болт, 17 – дробильное тело

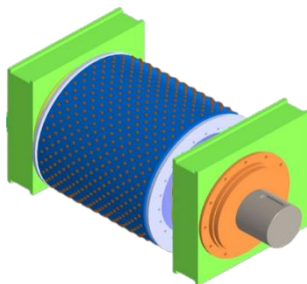


Рис. 3 – Валок в сборе в изометрии

На рисунке 3 представлен валок в изометрии, построенный согласно предложенной разработке с установкой дробильных тел на рабочей поверхности бандажей, которые позволяют увеличить срок из службы.

Данные бандажи имеют большую износостойкую поверхность с большим количеством дробильных тел на поверхности бандажа. Дробильные тела изготавливаются из порошковой инструментальной стали с высокой степенью прочности на истирание. Закрепление дробящих тел может быть, как снаружи (когда конусная форма дробящего тела позволяет плотно посадить в посадочное место), так и с внутренней стороны бандажа (фиксируя дробящее тело болтом). Между дробящими валками создается рельефная поверхность, что улучшает процесс втягивания материала в зону между валками, тем самым увеличивая пропускную способность пресса за счет увеличения трения между поверхностью валков и обрабатываемым материалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интернет-ресурс: <https://jcement.ru/>;
2. Севостьянов В.С. Механическое оборудование производства строительных материалов: учебник для вузов / В.С. Севостьянов, Н.Н. Дубинин, В.И. Уральский, М. Т. Макридина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч.1 – с.253;
3. Интернет-ресурс: <https://yandex.ru/patents>
4. Анциферов С.И., Латышев С.С., Шаповалов Д.А. Вариантное проектирование валков валковой дробилки // Межвуз. сб. ст. <<Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов>> под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2018. – Вып. XVII. С 8–12

5. Богданов В.С., Помазов Д.А. Повышение износостойкости рабочего органа и эффективности процесса измельчения в пресс-валковых измельчителей // Межвуз. сб. ст. <<Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов>> под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2020. – Вып. XIX. С 19–22

УДК 621.869

Бредихин Н.В., Варламов П.П., Кузьмин А.Н.

*Научный руководитель: Дмитриенко В.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ С ВИНТООБРАЗНЫМ ИСПОЛНЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА

БГТУ им. В.Г. Шухова является одним из базовых университетов России по разработке и исследованию дробильно-помольного оборудования [1 - 4]. Так в 2024 году творческим коллективом кафедры механического оборудования получен патент на полезную модель – измельчитель [5], новизна конструкции которого заключается в винтообразном исполнении рабочих органов (валков).

Для понимания процесса измельчения материалов и проверки работоспособности измельчителя, была изготовлена его модель с применением 3Д печати (рис.1).



Рис. 1 – Модель измельчителя изготовленная на 3Д принтере:
1 – станина; 2 – электродвигатель; 3, 5 – муфта; 4 – редуктор;
6 – зубчатая передача; 7 – корпус; 8, 9 – подшипниковая опора;
10, 11 – валки

Установка состоит из станины 1, на которой установлен привод, состоящий из электродвигателя 2, муфты 3,5, редуктора 4, зубчатой передачи 6; корпуса 7, подшипниковых опор 8 и 9 в которых установлены валки 10 и 11 с вращением навстречу друг к другу. Валок 10 выполнен в форме цилиндра с четырьмя полукруглыми выпуклыми участками, расположенными равноудаленно на его поверхности. Валок 11 выполнен в форме цилиндра с шестью полукруглыми углубленными участками, расположенными равноудаленно на поверхности в теле цилиндра. Тела валков 10 и 11 имеют винтообразный изгиб вокруг своих осей вращения навстречу друг к другу: валок с выпуклыми участками – на 90° , валок с углубленными участками - 60° . При этом валки установлены так, что при вращении, когда полукруглый выпуклый участок валка 10 находится напротив полукруглого углубленного участка валка 11, образуется зона параллельности поверхностей валков 10 и 11 с полукруглым зазором между ними.

На установке проведены постановочные эксперименты по измельчению хрупкого материала небольшой влажности с размером частиц от 5 до 10 мм. На выходе получена смесь мелкозернистых и пылевидных частиц. Процесс измельчения носил стабильный характер.

На основании конструкторской документации была изготовлена лабораторная установка в металле с диаметром валков 60 мм (рис.2).



Рис. 2 – Лабораторная установка измельчитель

Проведен постановочный эксперимент по измельчению мела Чураевского месторождения с исходным размером кусков 1 – 20 мм неправильной формы [6]. На выходе получена смесь мелкозернистых (неправильной формы) и пылевидных частиц со средневзвешенным размером 1,5 мм (рис.3).

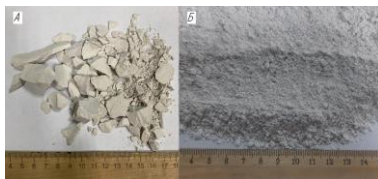


Рис. 3 – Мел:
а - исходный продукт; б - конечный продукт

Дальнейшая работа состоит в проведении экспериментальных исследований по отработке режимных параметров измельчителя, и постановочных экспериментов по измельчению горных пород с различным коэффициентом крепости и естественной влажности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С. Барабанные мельницы с поперечно-продольным движением мелющих тел, [Текст], автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.16, Московское научно-производственное объединение по строительству и дорожному машиностроению "ВНИИСТРОЙДОРМАШ" Москва : 1987 .- 49 с. - ил., табл. Службное пользование № 00060
2. Семикопенко И.А. Дезинтеграторы с эксцентричным расположением рядов рабочих элементов : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.02.13 / Белгородская технол. акад. строит. материалов. - Белгород, 1998. - 20 с.
3. Демченко С.Е. Совершенствование процесса измельчения в конусной инерционной дробилке: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.02.13 / Демченко Сергей Евгениевич; [Место защиты: БГТУ им. В.Г. Шухова]. - Белгород, 2007. - 22 с.
4. Романенко В.С. Горизонтальная валковая мельница: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.02.13 / Романенко Владимир Сергеевич; [Место защиты: Белгород. гос. нац. исслед. ун-т]. - Белгород, 2015. - 16 с.
5. Патент № 227899 Российская Федерация, МПК В02С 4/30 (2006.01), В02С 4/30 (2024.01). Измельчитель: № 2024115455: заявл. 05.06.2024: опубл. 08.08.2024 / Дмитриенко В.Г., Шеметов Е.Г., Варламов П.П., Дмитриенко М.В.; заявитель БГТУ. - 6 с.: ил.
6. Оценочные работы на мел Чураевского месторождения в Шебекинском районе Белгородской области, с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2009 : отчет - Белгород, 2009. - 130 с.

*Варламов П.П., Бакланова П.М., Бредихин Н.В.
Научный руководитель: Дмитриенко В.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ С ВИНТООБРАЗНЫМ ИСПОЛНЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА

На сегодняшний день перед горной отраслью и промышленностью строительных материалов стоит задача увеличения степени измельчения дробильных аппаратов до получения кусков горной породы 10-20 мм и меньше. Валковые дробилки являются наиболее перспективными дробильными аппаратами для измельчения рудных и нерудных горных пород, так как удовлетворяют требованию по размеру конечного продукта. Данные машины характеризуются наименьшим значением металлоёмкости из всех дробильных аппаратов и сравнительно невысоким значением степени измельчения ($i = 4 - 6$) [1].

Поэтому разработка предложения для проведения модернизации рабочего оборудования валковой дробилки является актуальной задачей.

С целью разработки предложения для проведения модернизации валковой дробилки проведены патентные исследования на сайте (www.patents.google.com) и научной электронной библиотеке (www.elibrary.ru) с глубиной поиска 35 лет. В результате анализа изобретений были отобраны патенты на полезную модель RU151636 и патент на изобретение RU19801, соответствующие единой цели изобретения.

Установка для измельчения твердых материалов по патенту RU на полезную модель №151636 [2] содержит корпус, внутри которого размещены два вала, установленных параллельно в горизонтальной плоскости. На наружной поверхности вала выполнена винтовая реборда с противоположной навивкой. Привод установки обеспечивает вращение валов навстречу друг другу с одинаковой угловой скоростью. На ребордах установлены в шахматном порядке режущие элементы (рис. 1).

Установка работает следующим образом. При включении привода вращающиеся валы 1 и 2 ребордами 3 захватывают измельчаемый материал, а режущие элементы 4 разрушают его. Поскольку режущие элементы 4 установлены на ребордах 3 в шахматном порядке, на измельчаемый материал действуют разрывающие усилия, вследствие

чего происходит эффективное измельчение материалов.

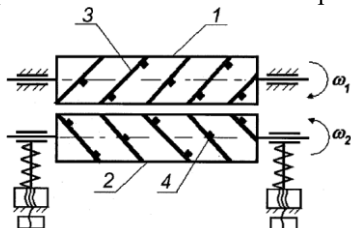


Рис. 1 – Установка для измельчения твердых материалов:
1, 2-валы; 3-реборда; 4-режущие элементы.

Недостаток изобретения заключается в низкой степени измельчения за счет отсутствия возможности установки валков достаточно близко, так как винтовые реборды расположены напротив друга.

Валковая дробилка по патенту КЗ на изобретение №19801[3], состоит из рамы, на которой установлен электропривод, содержащий электродвигатель, редуктор, муфты и зубчатую передачу-синхронизатор, неподвижного и подвижного валков, установленных в подшипниковых опорах, с возможностью вращения навстречу друг другу (рис. 2).

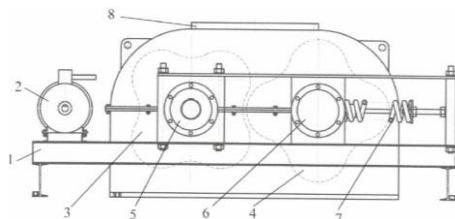


Рис. 2 – Валковая дробилка:
1-рама; 2-электропривод; 3-неподвижный валок;
4-подвижный валок; 5, 6-подшипниковые опоры; 7-предохранительное устройство; 8-загрузочное отверстие.

Валковая дробилка работает следующим образом: исходный материал поступает в дробилку и попадает в пространство между валками 3 и 4. Валки приводятся во вращение электроприводом 2 и вращаются навстречу друг другу. Материал, попадая между валками, захватывается ими при их встречном вращении и увлекается в зазор между ними за счет сил трения между валками и кусками материала, а сочетание выпукло-вогнутых поверхностей валков способствует лучшему захвату и втягиванию кусков материала в зазор между валками, предотвращает их выталкивание из зазора. Втягиваясь в

минимальный зазор между валками, материал измельчается и выпадает из дробилки.

Недостатком изобретения является сравнительно невысокая степень измельчения.

Проанализировав вышеупомянутое изобретение, мы предлагаем изготовить рабочий орган валковой дробилки выпуклой и вогнутой формы с поворотом на определенный угол вокруг оси вращения с постоянным расстоянием между поверхностями рабочих органов 1 мм. Для подтверждения нашего предложения нами разработана электронно-цифровая модель измельчителя с винтообразным исполнением рабочего органа диаметром 60 мм. Была проведена симуляция измельчения в программе «RockyDem» (рис. 3). Процесс измельчения позволил установить, что степень измельчения составила 10. По данному предложению получен патент на полезную модель.

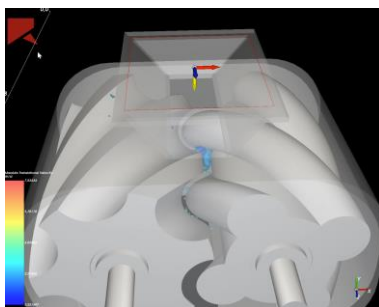


Рис. 3 – Электронно-цифровая модель

Измельчитель содержит раму 1, на которой установлены электродвигатель 2, редуктор 3, зубчатая передача-синхронизатор 4 с передаточным числом равным 1,5 и подшипниковые опоры 5 и 6 [4]. В подшипниковых опорах 5 и 6 установлены, с возможностью вращения навстречу друг другу, валок 7 и валок 8, соответственно. Валок 7 выполнен в форме цилиндра с несколькими полукруглыми выпуклыми участками, расположенными равноудаленно на его поверхности. Валок 8 выполнен в форме цилиндра с несколькими полукруглыми углубленными участками, расположенными равноудаленно на поверхности в теле цилиндра. Тела валков 7 и 8 имеют винтообразный изгиб вокруг своих осей вращения навстречу друг к другу: валок с выпуклыми участками - на 90° , валок с углубленными участками - 60° . При этом валки установлены так, что при вращении, когда полукруглый выпуклый участок вала 7 находится напротив полукруглого углубленного участка вала 8, образуется зона параллельности

поверхностей валков 7 и 8 с полукруглым зазором между ними (рис. 4).

Измельчитель работает следующим образом.

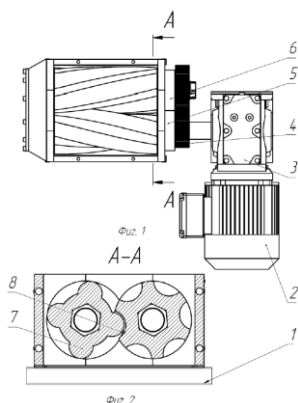


Рис. 4 – Измельчитель:

1-рама; 2-электродвигатель; 3-редуктор;
4-открытая зубчатая передача; 5, 6-подшипниковые опоры;
7-выпуклый валок; 8-вогнутый валок.

Исходный материал, например, железная руда, подается в пространство между валками 7 и 8, которые установлены на раме 1 в подшипниковых опорах 5 и 6. Валки 7 и 8 приводятся во вращение навстречу друг другу электродвигателем 2 через редуктор 3 и зубчатую передачу-синхронизатор 4 с передаточным числом равным 1,5.

Во время работы измельчителя, исходный материал, поступая в пространство между валками 7 и 8 захватывается ими при их встречном вращении и увлекается в зазор между ними за счет сил трения между валками 7 и 8 и кусками материала. Сочетание выпуклых и вогнутых участков валков 7 и 8 способствует лучшему захвату и втягиванию кусков материала. Втягиваясь в полукруглый зазор между валками 7 и 8, материал измельчается, подвергаясь раздавливанию, истиранию и излому. В результате чего увеличивается эффективность и степень измельчения материалов. Выполнение валков в форме цилиндра с винтообразным изгибом вокруг своих осей вращения навстречу друг к другу на 90 и 60 градусов соответственно, позволяет загружать куски материалов большего размера, а на выходе получать более мелкую фракцию, таким образом увеличиваем степень измельчения материалов.

Дальнейшая работа состоит в подготовке выпускной квалификационной работы по этой тематике, а также в изготовлении

измельчителя в лабораторном варианте из стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриенко В.Г., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. / Горные машины и оборудование: лабораторный практикум – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 128 с.

2. Пат. 151636 Российская федерация, МПК6 В 02 С 04/02. Установка для измельчения твердых материалов / К.А. Адигамов, Г.В. Черненко, С.Н. Байбара, С.С. Петренко; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» - №2014129229/13; заявл. 15.07.2014; опубл. 10.04.2015.

3. Пат. 19801 Республика Казахстан, KZ В 02 С 4/30. Валковая дробилка / Г.А. Гурьянов; заявитель и патентообладатель Республиканское государственное казенное предприятие «Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева Министерства образования и науки Республики Казахстан». - №2007/0263.1; заявл. 22.02.2007; опубл. 15.08.2008.

4. Пат. 227899 Российская Федерация, МПК В02С 4/30. Измельчитель / Дмитриенко В.Г., Шеметов Е.Г., Бондаренко И.Р., Варламов П.П., Дмитриенко М.В.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». - №2024115455/22; заявл. 05.06.2024; опубл. 08.08.2024.

УДК 623.746.-519

Гуденко О.В., Бащева Е.С., Василенко О.С.

Научный руководитель: Лозовая С.Ю., д-р. техн. наук, проф.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ МУЛЬТИКОПТЕРНОГО ТИПА

В настоящее время особое место в жизни страны занимает применение беспилотных летательных аппаратов. Использование беспилотных аппаратов (БА) в различных сферах деятельности [1] позволяет упростить выполнение разнообразных задач, а также снизить риск для жизни и здоровья человека. Из существующих БА самыми

распространенными являются аппараты мультикоптерного типа. Как правило, они состоят из корпуса и нескольких винтомоторных групп.

БА мультикоптерного типа применяются в обследовании зданий и сооружений, мониторинге ЛЭП, нефте-газопроводов, дорожного покрытия и транспортных потоков [1] лесного хозяйства и т.д. Для данного типа БА характерны следующие отличительные признаки перед аппаратами иных типов:

- подзарядка от линий электропередач;
- возможность зависания над объектом для фотографирования и оценки обстановки;
- возможность вертикального взлета и посадки;
- высокая точность и маневренность;
- простота в управлении;
- высокий уровень ремонтопригодности.

В зависимости от конструктивных особенностей, БА мультикоптерного типа могут совершенствоваться по следующим направлениям:

- 1) повышение грузоподъемности при сохранении экономичности и дальности полета [2].

БА мультикоптерного типа (рис. 1) [2] содержит центральную платформу, на которой закреплены восемь электродвигателей с соосными воздушными винтами. Рядом расположены двигатели, которые имеют встречное направление вращения, при этом электродвигатели связаны с аккумуляторной батареей и маршрутной вычислительной системой, мобильным пультом управления и контроля, системой видеонаблюдения и приемником GPS навигации. Электродвигатели с винтами установлены внутри колец, которые имеют аэродинамический профиль, при этом винты вращаются в кольце с относительным зазором 0,45-1,5% от его диаметра.

За счет аэродинамического профиля колец, в которых находятся винты электродвигателей, повышается грузоподъемность БА.



Рис. 1 – Беспилотный аппарат с аэродинамическим профилем колец

2) Фотосъемка и мониторинг окружающей среды в различных отраслях [3].

БА [3] (рис. 2) содержит модуль спутниковой навигации, ультрафиолетовый дефектоскоп, тепловизионную камеру, видеокамеру высокого разрешения и лазерный дальномер, антенну, четыре электродвигателя, батарею, объектив видеокамеры установлен в отверстие, выполненное в нижней части корпуса, его диаметр чуть меньше половины высоты корпуса приборного отсека, объективы ультрафиолетового дефектоскопа и тепловизионной камеры - в отверстия, которые выполнены в верхней части корпуса, а объектив для лазерного дальномера установлен в отверстие, которое выполнено в центре.

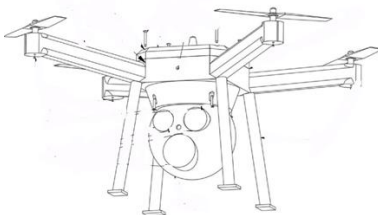


Рис. 2 – БА для мониторинга окружающей среды

За счет наличия комплекса фото- и видеоаппаратуры производится съемка и мониторинг практически во всех отраслях промышленности.

3) Повышение комфортабельности при перевозке пассажиров [4].

БА [4] (рис. 3) содержит фюзеляж, посадочное шасси, систему обеспечения электроэнергией, винтомоторные группы с контроллерами, полетный контроллер, систему датчиков для мониторинга и управления полетом. Винтомоторные группы расположены в двух параллельных плоскостях, горизонтальных при вертикальном взлете, находящихся выше и ниже фюзеляжа и образующих верхний и нижний ярусы. В каждом ярусе находится не менее трех винтомоторных групп, размещенных в вершинах плоских многоугольников, геометрические центры которых лежат на одной вертикальной оси, причем на той же оси между ярусами находится центр масс летательного аппарата.

За счет большого количества винтомоторных групп, расположенных по всему периметру БА, обеспечивается комфортабельность при перевозке пассажиров.



Рис. 3 – БПЛА для перевозки пассажиров

4) Повышение ремонтопригодности [5].

БА мультикоптерного типа [5] (рис. 4) выполнен из разъемных плат, соединенных между собой с блоком управления, Механическое соединение плат выполнено в виде межплатных соединителей с фиксации. Соединение цепей платы полезной нагрузки и платы управления осуществляется через проходные соединения на плате двигателей. Двигатели предназначены для приведения во вращение соответствующих винтов.

Благодаря тому, что в БПЛА отсутствует рама (корпус), а сам БПЛА состоит из отдельных разъемных плат, обеспечивается повышение ремонтопригодности изделия.

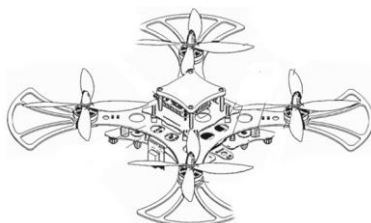


Рис. 4 – БА с улучшенной ремонтопригодностью

Таким образом, беспилотные аппараты мультикоптерного типа имеют большой потенциал для расширения их конструктивных особенностей, а также и возможности применения в существующих и новых сферах деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lozovaya S.Yu., Development of an algorithm for monitoring moving objects to form their movement trajectories using uas / Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Borovskoi A.E. // Proceedings of the International

Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” - Reports in English. August 14, 2024. Beijing, China PRC., Part 2, pp. 127-132.

2. Патент № 2 666 493 Российская Федерация, МПК В64С 27/08 (2006.01), В64С 39/02 (2006.01). Беспилотный летательный аппарат : № 2017127075, заявл. 27.07.2017, опубл. 07.09.2018 / Агапов О.Ю., Беденко С.В., Буцев С.В., Зудин О.М., Морозов А.К., Руденок И.А. – 12 с.

3. Патент № 2 776 589 Российская Федерация, МПК C01R 31/08 (2006.01), В64С 39/02 (2006.01), H02J 13/00 (2006.01). Устройство для дистанционного мониторинга объектов электроэнергетики : №2021130997 : заявл. 25.10.2021, опубл. 22.07.2022 / Шпенест В.А., Морозова О.Ю., Зюлин В.А. – 13 с.

4. Патент № 2 518 440 Российская Федерация, МПК В64С 39/00 (2006.01). Беспилотный летательный аппарат и комплекс авианаблюдения для него : № 2012116031/11, заявл. 23.04.2012, опубл. 10.06.2014 / Корчагин С.И., Лебедев С.Н., Гордеев А.Е. - 13 с.

5. Патент № 182 586 Российская Федерация, МПК В64С 1/00 (2006.01). Модульный беспилотный летательный аппарат : № 2018111511, заявл. 30.03.2018, опубл. 23.08.2018 / Петров И. Е., Трещанин М. И., Богатов А. Ю. – 8 с.

УДК 691.5:658.27

Гуденко О.В., Камбур А.С., Науменко В.В., Оноприенко Ю.С., Исса Ю.М.

Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Малые установки для производства сухих строительных смесей предназначены для производства ограниченных объемов продукции (2 - 6 тонн в час) при минимальных капиталовложениях и эксплуатационных затратах. На таких установках можно выпускать как простые смеси так и сложные модифицированные смеси. Малые установки занимают небольшую площадь производственного помещения, не требуют хранения материалов в стационарных силосах, могут быть быстро перемещены (перезагружены) [1,3].

Для производственных помещений с относительно высокими потолками применяется вертикальная компоновка (рис. 1), в которой смесь из смесителя-дозатора подается в бункер готовой продукции, непосредственно из которого питается фасовочная машина. Комплект оборудования для такой компоновки будет стоить дешевле, чем для горизонтальной «партерной» компоновки (рис. 2), так как отпадает необходимость в бункере смесителя-дозатора и перегружающем винтовом конвейере.



Рис. 1 – Технологический комплекс с вертикальной схемой фасовщика



Рис. 2 – Технологический комплекс с партерной схемой фасовщика

За счет полного совмещения и практической независимости процессов дозирования-перемешивания и упаковки, производительность такой относительно простой установки, в зависимости от рецептуры и заданного времени перемешивания, может достигать 5 тонн смеси в час.

Системы управления установками для производства сухих строительных смесей, позволяют управлять производственным процессом в автоматическом и ручном режимах, с применением компьютеров или автономно. При этом обеспечивается точная дозировка как компонентов смеси, так и готовой продукции.

Устройство и работа комплекта оборудования.

Простая (малая) автоматизированная установка для производства сухих строительных смесей включает в себя, как правило, следующее оборудование:

- смеситель-дозатор сухих строительных смесей СБ-97МК-Д;
- расходный бункер (бункер смесителя-дозатора);
- винтовой конвейер для перегрузки готовой смеси ВКВ-159;
- бункер готовой смеси;
- полуавтоматическую фасовочную машину (8) ФШПА-1К или ручной фасовщик ФШ-1К;
- металлоконструкции (площадка обслуживания, опоры и т.п.);
- винтовые конвейеры ВК-159;
- растариватели МКР СР-1К;
- накопительные бункеры компонентов;
- приемник микродобавок ПМД-1К;
- систему управления (комбинированный шкаф управления КШУ-УПССС-М);
- пневмосистему (компрессор, пневмомагистрали, шкаф пневмоуправления ШПУ-1К) [4].



Рис. 3 – Технологический комплекс с партерной схемой фасовщика

Компоненты смеси, (цемент, песок, гипс или другой) перемещаются из мягкой упаковки (МКР или «big-bag») в накопительные бункера (1) и подается винтовыми конвейерами (2) через приемную воронку (3) в многокомпонентный смеситель-дозатор СБ-97МК-Д (4). При достижении заданного веса подача компонента прекращается и таким же образом загружается второй и другие компоненты. После дозирования компонентов в смесителе-дозаторе, оператор установки может с площадки обслуживания через приемник микродобавок ПМД-1К загрузить непосредственно в смеситель-дозатор заранее взвешенные в необходимом количестве добавки, которые предусмотрены рецептурой изготавливаемой смеси. Далее происходит процесс перемешивания, который длится заданное количество времени,

после чего готовая смесь выгружается в расходный бункер. Из расходного бункера смесь перегружается винтовым конвейером (5) в бункер готовой смеси (6), из которого питается полуавтоматическая фасовочная машина ФШПА-1К (7) или ручной фасовщик ФШ-1К, пакующие готовую продукцию в клапанные мешки весом от 10 до 50 кг. Необходимый вес мешка задается непосредственно с пульта управления машины (только для ФШПА-1К) [2,5].

В современных технологических комплексах особое внимание уделяется автоматическому управлению всем технологическим процессам по производству сухих строительных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей. Москва 2003, 94 с.

2. Багринцев, И.И. Смесительное оборудование для сыпучих и пастообразных материалов [Текст] / И.И. Багринцев, Л.М. Лебедева, В.Я. Филин // М.: Обзорная информация, 1986. – 35 с.

3. Корнеев В.И. Основные условия разработки рецептур сухих строительных смесей // Batimix. - 2001.

4. Несмеянов Н.П. Анализ работы смесителей для производства сухих строительных смесей / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Смирнов Д.В., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2021. - Вып. XX. С.143-147

5. Несмеянов Н.П. Состояние вопроса приготовления строительных смесей в настоящее время / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Оноприенко Ю.С., Котышев А.В. // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2022. - Вып. XXI. С.286-289

Гуденко О.В., Топчий Я.П., Беляев Ю.В.

*Научный руководитель: Лозовая С.Ю., д-р. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ САМОЛЕТНОГО ТИПА

В настоящее время особое место в жизни страны занимает применение беспилотных летательных аппаратов, которые представляют собой воздушные судна, выполняющие полет без экипажа, управляемые дистанционно. Наиболее распространенными являются БА самолетного типа. Их основными конструктивными элементами являются фюзеляж и крылья различной формы [1]. Они имеют ряд преимуществ перед аппаратами вертолетного типа:

- продолжительное время полета (до 16 ч);
- возможность летать на большой высоте;
- простота конструкции;
- обеспечение эффективной аэродинамики.

В зависимости от конструктивных особенностей и назначения БПЛА самолетного типа могут совершенствоваться по следующим направлениям:

- 1) улучшение маневренности [2].

БА самолетного типа [2] (рис. 1) включает фюзеляж, станцию наблюдения, аккумулятор, шасси, систему крыльев, рули, силовую установку на базе двух поршневых двигателей с винтами. На крейсерском режиме используется только двигатель с толкающим винтом, а при маневрировании включается двигатель с тянущим винтом. На каждой консоли установлено по две секции рулей, отклоняющиеся однонаправленно или разнонаправленно для облегчения удержания объекта в зоне видимости.



Рис. 1 – Беспилотный аппарат самолетного типа

За счет снижения индуктивного сопротивления улучшены аэродинамические свойства БПЛА, а также возникает возможность удлинения крыла за счет выигрыша в его массе.

2) Повышение аэродинамических свойств [3].

БА самолетного типа [3] (рис. 2) состоит из панели, расположенной над фюзеляжем, в которой установлены на пилонах подъемные винты, при этом на верхней и нижней части панели располагаются стенки с возможностью отклонения перпендикулярно плоскости панели при взлете и посадке. Они образуют гладкую поверхность в закрытом состоянии при горизонтальном полете.

За счет формы фюзеляжа и расположенных внутри него движущих винтов обеспечивается повышение аэродинамических свойств БПЛА.



Рис. 2 – БА с повышенными аэродинамическими свойствами

3) Увеличение дальности полета [4].

БА самолетного типа [4] (рис. 3) содержит стреловидное крыло, включающее левую консоль и правую консоль, снабженное вертикальными законцовками и продольный фюзеляж с профилем в продольном сечении, создающим дополнительную по отношению к стреловидному крылу подъемную силу. Также имеется двигательная установка в задней части фюзеляжа, топливная система с топливными баками, парашютная система посадки, полезная нагрузка. При этом отношение длины фюзеляжа к ширине фюзеляжа выполнено величиной меньше 6.

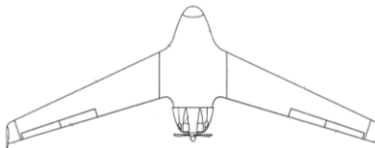


Рис. 3 – БА с увеличенной дальностью полета

4) Обеспечение устойчивого глиссирования [5].

БА самолетного типа [5] (рис. 4) содержит лодку, крыло, горизонтальное и вертикальное оперение, размещенное на продольных балках. Днище лодки выполнено с двумя поперечными

реданами 3, 4, имеющими равную гидродинамическую эффективность. Первый редан 3 расположен впереди БПЛА, а вторым реданом 4 является кормовая часть лодки.

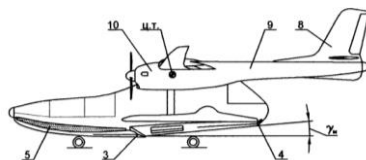


Рис. 4 – БА с улучшенным глиссированием

За счет наличия двух поперечных реданов, расположенных на обводах днища лодки БПЛА, осуществляется устойчивое глиссирование.

Таким образом, беспилотные аппараты самолетного типа имеют различное исполнение и могут использоваться во многих отраслях промышленности, дополняя и заменяя существующие традиционные способы решения отраслевых задач [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lozovaya S.Yu., Development of an algorithm for monitoring moving objects to form their movement trajectories using uas / Lozovaya S.Yu.,

Lozovoy N.M., Borovskoi A.E. // Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” - Reports in English. August 14, 2024. Beijing, China PRC., Part 2, pp. 127-132.

2. Патент № 125 964 Российская Федерация, МПК В64С 39/08 (2006.01). Беспилотный летательный аппарат : № 2012121720/11, заявл. 25.05.2012, опубл. 20.03.2013 / Лю Юе, Цинь Чао, Чепурных И. В. – 10 с.

3. Патент № 216 772 Российская Федерация, МПК В64С 27/22 (2006.01), В64С 39/08 (2006.01), В64С 27/30 (2006.01). Беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки : № 2022129572, заявл. 15.11.2022, опубл. 28.02.2023 / Абдуллин И.Н., Гайнутдинов В.Г., Солодянникова А.В. – 7 с.

4. Патент № 2 754 277 Российская Федерация, МПК В64С 39/00 (2006.01). Беспилотный летательный аппарат : № 2021101810, заявл. 27.01.2021, опубл. 31.08.2021 / Малов Ю.И., Кибец Д.А., Колдаев А.В. – 12 с.

5. Патент № 2 661 379 Российская Федерация, МПК В64С 35/00 (2006.01), В64С 25/66 (2006.01). Беспилотный самолет-амфибия : № 2017124837, заявл. 11.07.2017, опубл. 16.07.2018 / Дурицын Ю.Г., Аргишев С.Н., Крееренко С.С. – 9 с.

УДК 62-91

*Ефросимов К.Е., Марков Р.Э., Эргашов Ш.З., Якшина А.В.
Научный руководитель Карпачев Д.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ДИСПЕРГАТОРЕ СО ВСТРЕЧНО СОУДАРИЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ГАЗОВЗВЕСИ

К настоящему времени современной газодинамикой и, в частности, теорией турбулентных струй, достаточно широко исследованы однофазные и двухфазные газовые струи. Не так давно, при решении подобного рода задач, применялись приближенные методы решения, позволяющие получать практически приемлемые результаты [1].

Так, одним из основоположников и создателей струйной помольной техники в России Акуновым В.И., разработана теория струйных мельниц, основные выводы которой базируются на теоретических посылах гидродинамики. При этом энергетическое представление о струйных процессах позволило установить основные количественные зависимости параметров свободных и стесненных струй, а также эжекторов. Струя газовзвеси, несущая твердую фазу, представлена разбитой на четыре участка различной структуры, в том числе с различной формой поверхностей раздела. Такое энергетическое истолкование процесса струеобразования обладает некоторыми преимуществами по сравнению с предложенным Голеевским А.А. методом [4], при котором участки струи характеризуются величиной коэффициента увлечения.

В предложенной Акуновым В.И. теории были получены критический весовой расход твердой фазы, предельное и оптимальное значение её концентрации в зависимости от скорости газа и плотности частиц, критический расход газовой фазы [2, 3]. В целом эта методика расчета эжекторов дает результаты, достаточно хорошо приближающиеся к экспериментальным, в силу того, что как раз результаты экспериментальных исследований и служили отправными данными.

Однако следует отметить, что для расчета основных конструктивных параметров эжекторного узла струйного диспергатора, предложены выражения, увязанные с производительностью мельницы, выведенные на основе экспериментальных данных, которые не вполне согласуются с теоретическими посылками.

Целесообразно определять конструктивные параметры помольной камеры, а также диаметр, длину разгонных трубок и основные поперечные сечения эжекторного узла исходя из газодинамических параметров, получаемых на основе двухскоростной модели течения смеси газа и твердых частиц.

Работу эжекторов струйного измельчителя можно анализировать, используя методику, предложенную Баулиным К.К., и уточненную для расчета пневмотранспортных установок Успенским В.А. [17]. На основании выполненных исследований была предложена методика определения оптимальных параметров помольного узла струйного измельчителя. Методика расчета состояла из ряда трудоемких этапов. На одном из таких этапов было получено уравнение, выражающее взаимосвязь конструктивных и режимных параметров эжекторов, и являющееся его характеристикой [5].

Однако следует отметить, что все упомянутые теории, в основном ограничивались рассмотрением процессов, протекающих в эжекторных узлах диспергатора. Процессы, происходящие непосредственно в помольной камере и узлах, примыкающих к ней, в виду сложности обычно не рассматриваются. Между тем в теории струйных помольных агрегатов этот вопрос является одним из основных.

Следовательно, решение вопроса повышения качественных показателей процесса измельчения в диспергаторе со встречно соударяющимися потоками газовзвеси и снижение энергетических затрат лежит в области теоретического обоснования и экспериментальной проверки конструктивно-технологических параметров помольной камеры и узлов, примыкающих к ней.

Еще одним фактором, определяющим эффективность процесса измельчения в диспергаторе со встречно соударяющимися потоками газовзвеси, является размер измельчаемого материала. Поскольку в потоке газа имеются частицы разных размеров, то очевидно, что движение полидисперсных частиц отличается от движения одиночной частицы. Так, мельчайшие частицы материала, скорее всего, будут строго следовать по линиям течения несущей среды, а более крупные под влиянием сил инерции смещаются по отношению к этим линиям.

При рассмотрении процесса ударного измельчения, движение частиц твердого материала можно считать равноускоренным и

равномерно прямолинейным. Пренебрегая гравитационными силами, можно предположить, что частица твердого материала в газе движется прямолинейно до тех пор, пока не произойдет ее столкновение с другой частицей или со стенкой. В процессе столкновения частицы обмениваются между собой импульсом и энергией и изменяют направление своего движения.

В качестве теоретической основы формулирования механизма разрушения твердых тел многие исследователи помольных процессов используют известный в механике принцип минимальной энергии, по которому равновесное состояние деформированного тела соответствует минимуму потенциальной энергии системы [9, 11, 13].

Разрушение при ударе определяется скоростью движения в момент удара и происходит вследствие распространения в теле продольных и поперечных ударных волн, их отражения от свободных поверхностей и интерференции [2, 3]. Диспергирование тела осуществляется в основном за счет возникновения поперечных растягивающих напряжений, создающих предельные нагрузки и местной концентрации напряжений. В результате образуется трещина, размеры которой с течением времени увеличиваются [7, 8, 14].

Эффективность удара пропорциональна скорости частицы, наносящей удар. Следовательно, волна напряжения, распространяющаяся в теле, имеет ударный фронт со скачком. Ударная волна, достигая поверхностей частицы, отражается от них с переменной знака, при этом ударный импульс многократно пробегает частицу. Импульс сжатия отражается от поверхности частицы, противоположной точке удара, и преобразуется в импульс растяжения. Отраженные от боковых поверхностей импульсы приводят к образованию трещин, параллельных этим поверхностям. Немедленно после возникновения трещины часть импульса отражается от нее, что при достаточной энергии импульса приводит к образованию новой трещины и т. д.

В качестве одного из факторов, влияющих на условия разгона частиц до скоростей, обеспечивающих максимальные напряженные состояния частиц при столкновениях, можно рассматривать концентрацию материала.

Следующим объектом рассмотрения является механизм удара частицы материала, движущейся в газовом потоке, о стенку помольной камеры. В точке удара возникает волновой процесс с образованием трещиноватой зоны и последующим ее выкрашиванием.

Процесс измельчения сопровождается уменьшением массы отдельных частиц за счет уменьшения их объема. С уменьшением

размера частиц должны изменяться условия силового нагружения их, и разрушение будет происходить в основном не за счет сжатия или удара, а за счет трения. Трение – сложный вид взаимодействия и в отличие от удара его нельзя описать законами физики.

В точках соприкосновения разрушаемой частицы с окружающими частицами возникают трещины, распространяющиеся радиально в некоем шаровом объеме. На некотором удалении от поверхности трещины пересекаются друг с другом, образуя трещиноватый слой, слабо связанный со слоями, расположенными глубже. Затем происходит отшелушивание трещиноватого слоя, после чего процесс повторяется. Тонкое измельчение характеризуется многократным повторением описанного цикла.

Исследованиями показано [12, 15, 16], что твердые частицы могут разрушаться не только за счет взаимных соударений в газовом потоке, но и в результате действия на них сил потока. При этом измельчение обуславливается напряжениями сжатия и сдвига.

Однако при рассмотрении всех факторов струйного измельчения, авторами исследований принималось допущение о столкновении одиночных частиц шарообразной формы, движущихся в равновероятном направлении, что не отражает истинных явлений, происходящих в пылегазовых потоках.

Разогнанные энергоносителем в разгонных трубках эжекторов частицы попадают в помольную камеру, а затем в зону встречи струй. При рассмотрении движения энергоносителя, образующего струю, в помольной камере диспергатора со встречно соударяющимися потоками газовзвеси, известно, что мы рассматриваем затопленную струю, которая имеет каплеобразную форму. Струя, выходящая из разгонной трубки, не сразу заполняет все поперечное сечение помольной камеры, струя в месте входа в помольную камеру отрывается от стенок и дальше движется в виде свободной струи, отделенной от остальной среды поверхностью раздела. Поверхность раздела неустойчива, на ней возникают вихри, в результате чего струя перемешивается с окружающей средой.

Движение массы твердых полидисперсных частиц в газовом потоке в отличие от движения одиночной частицы усложняет вихревую структуру потока. Газовый поток, содержащий твердые частицы в определенной концентрации, характеризуется наличием относительных движений частиц, накладывающихся на движения турбулентных потоков. В подобных условиях возникают силы аэродинамического взаимодействия между газом и твердым телом, а также между частичками твердого материала. Величина и характер этого

взаимодействия зависят от физико-механических свойств материала, дисперсности и концентрации твердых частиц, режима движения потока [5, 6].

Неправильная форма частиц и смещение центра масс вызывает вращение частиц материала, при этом механизм взаимодействия твердой и газовой фаз в движущихся пылегазовых потоках позволяет разрушаться частицам материала не только при центральном ударе, но и силами трения при вращении или при нецентральных ударах частиц. При этом благоприятные условия для истирающего разрушения создаются при соударении встречных струй, когда частицы измельчаемого материала вовлекаются в интенсивное колебательное движение.

Метод струйного измельчения осуществляется в процессе физико-механического взаимодействия частиц измельчаемого материала и энергоносителя, при этом является сложным и многофакторным. В настоящее время не известны обобщенные показатели, характеризующие измельчаемость материала независимо от способа разрушения. Поэтому, существует множество групп факторов, характеризующих способ разрушения твердого вещества. К одной из таких групп можно отнести: вид механической нагрузки, скорость ее приложения, концентрация твердого материала в газовом энергоносителе, геометрические размеры и исполнение основных элементов мельницы. Найдя же количественные соотношения главных из рассматриваемых факторов, в качестве которых могут выступать конструктивные параметры помольной камеры, можно прогнозировать результаты струйного измельчения.

Повышение эффективности процесса измельчения в противоточных струйных мельницах возможно за счет организации режима работы помольной камеры, позволяющего обеспечить эффективный пролет частиц материала, определяемый из условия сохранения максимальной скорости на подлете к области столкновения струй. Чтобы избежать нежелательного для эффективности помола торможения в потоке газа частиц измельчаемого материала, рекомендуется длину помольной камеры выбирать в зависимости от длины эффективного пролета частиц материала.

В предложенной методике расчета противоточных струйных мельниц [2] это расстояние рекомендуется выбирать равным половине длины потенциального ядра струи. При увеличении этого расстояния уменьшается площадь встречи потенциальных ядер струи и эффективность измельчения уменьшается. При уменьшении противодавления на срезах разгонных трубок эжекторов возрастает, что также должно ухудшать помольные характеристики мельницы.

Однако в [18], говорится о том, что свободная длина струи в помольной камере должна быть как можно меньше и составлять около двух диаметров разгонной трубки.

На наш взгляд вариант, когда длина струи в помольной камере будет меньше длины ядра струи постоянной скорости, выглядит предпочтительнее, потому что в этом случае в плоскости соударения большее число частиц материала будет иметь максимальную скорость, равную скорости частиц на выходе из разгонной трубки U [10].

При попадании эжектированием твердых частиц в струю энергоносителя происходит разгон этих частиц потоком. Движущиеся в струе по разгонной трубке частицы измельчаемого материала приобретают на входе в помольную камеру скорость U , которая ниже скорости энергоносителя V_0 . После выхода из разгонных трубок, при переходе газовой струи в камеру помола, вследствие потери устойчивости струи, скорость энергоносителя начинает падать. При этом твердая фаза выделяется из струи, а частицы материала сохраняют скорость U за счет своей инерционности. Следовательно, через какое-то расстояние от среза разгонной трубки, наступит такой момент, когда скорость частиц U станет равной, а затем и больше скорости энергоносителя V_0 , т. е. энергия от твердой фазы начнет переходить к газовой, что приведет к торможению частиц в газовой среде. Чтобы избежать нежелательного для эффективности помола торможения частиц измельчаемого материала, расстояние между срезом разгонной трубки и серединной плоскостью в помольной камере должно выбираться из соображений сохранения максимальной скорости частиц материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамович Г.Н., Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович, Т.А. Гиршович, С.Ю. Крашенинников и др. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
2. Акунов В.И. Струйные мельницы. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1967. – 257 с.
3. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета. – М.: Машгиз, 1962. – 264 с.
4. Голеевский А.А. Вопросы механики струйного движения жидкостей и газов. – М.: Машгиз, 1957. – 824 с.
5. Горобец В.И. Новое направление работ по измельчению / В.И. Горобец, Л.Ж. Горобец – М.: Недра, 1977. – 183 с.
6. Кармазин В.И. Влияние температуры газа на разгон частиц в помольной камере струйной мельницы / В.И. Кармазин, В. И. Горобец,

Л. Ж. Горобец // Обогащение полезных ископаемых. – 1970. – Вып. 6. – С. 33-36.

7. Карпачев Д.В. К вопросу о теории хрупкого разрушения неметаллических материалов / Д.В. Карпачев, В.А. Уваров, А.В. Степанов // Сооружения, конструкции, технологии и строительные материалы XXI века: Сб. докл. II Междунар. науч.-практич. конф.-шк.-сем. молод. учен., аспирант. и докторантов. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1999. – Ч.3. – С. 48-53.

8. Карпачев Д.В. О некоторых теоретических аспектах расчета энергии хрупкого разрушения материалов / Д.В. Карпачев, В.А. Уваров, С.Б. Булгаков // Проблемы производства и использования мела в промышленности и сельском хозяйстве: Сб. док. Междунар. науч.-практич. конф. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2001. – С. 82-87.

9. Карпачев Д.В. К вопросу об определении энергии, затрачиваемой на измельчение материала / Д.В. Карпачев, В.А. Уваров, С.Б. Булгаков // Актуальные проблемы современного строительства: Сб. док. 55-ой Междунар. науч.-техн. конф. молод. учёных (аспирант., докторантов). – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2001. – Ч.1. – С 35-38.

10. Карпачев Д.В. Аэродинамический расчет системы разгона частиц в струйной противоточной мельнице / Д.В. Карпачев, В.С. Богданов, С.Б. Булгаков // Актуальные проблемы современного строительства: Сб. док. 55-ой Междунар. науч.-техн. конф. молод. учёных (аспирант., докторантов). – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2001. – Ч.1. – С 12-15.

УДК 622.7

Ефросимов К.Е., Марков Р.Э., Эргашов Ш.З., Якишина А.В.
Научный руководитель: Карпачев Д.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СТРУЙНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПИГМЕНТОВ

В настоящее время в России низкоэффективные технологии освоения и переработки многих горнорудных бассейнов привели к накоплению огромного количества отвалов, содержащих мел, глину, нетоварные железистые кварциты и др. И если проблема использования мела и глины решается довольно успешно путем переработки их в мел сепарированный, силикатный и керамический кирпич, то способ эффективной утилизации железистых кварцитов с низким содержанием железа еще предстоит разработать и внедрить. Одним из возможных

направлений использования бедных магнетитовых руд является предложение их применения в качестве пигментов различного назначения [5]. Так, например, в зависимости от химического состава исходного сырья можно использовать получаемые пигменты для производства стеновых и фасадных красок, шпаклевок, применять в качестве наполнителей резинотехнических изделий и линолеумов, можно изменять цветовую гамму различных строительных и облицовочных материалов. Но и здесь существует проблема освобождения конечного продукта от сопутствующих примесей.

Вытекает необходимость поиска новых технологий и помольного оборудования для наиболее полного использования железистых кварцитов не только как источника получения железа, но и как сырья для получения пигментов.

Существующие схемы обогащения окисленных железистых кварцитов, такие как обжиг-магнитная, магнитно-флотационная, гравитационная и флотационная, показывают возможность получения концентратов с удовлетворительным содержанием железа и хорошим его извлечением. Но все сопутствующие минералы, при этих схемах обогащения, уходят в хвосты. Между тем и их можно было бы использовать после соответствующей переработки в качестве пигментов.

Производство природных железоокисных пигментов, как правило, осуществляется одним из наиболее распространенных способов – механическим, основанным на диспергировании исходного сырья в устройствах различной конструкции [3]. В качестве измельчителей, в основном, используются шаровые мельницы, работающие как в замкнутом, так и в открытом цикле, по сухому и мокрому способам измельчения.

Так сухой способ производства включает в себя отбор пустой породы дробление, сушку, размол и воздушную сепарацию. Это достаточно сложный процесс, и он требует применения специального оборудования, в частности – измельчающего. Следует отметить, что применяемое в данном случае оборудование имеет высокую энерго- и металлоёмкость, требует значительных производственных площадей и обслуживающего персонала.

Разделение пигментов по тонкости конечного продукта оговаривается стандартом и исходя из него можно сделать вывод, что в данном случае применяется тонкое и сверхтонкое измельчение [3].

Актуальность исследований в области тонкого помола определяется большим влиянием степени измельчения на технологические свойства материала. Необходимо также отметить, что

получение тонкого и сверхтонкого порошков является довольно сложной технической задачей, т.к. затраты на помол резко увеличиваются, а начиная с некоторой предельной для данного материала величины дисперсности и способа разрушения, дальнейшее измельчение становится либо очень трудным, либо невозможным. Поэтому имеется широкая гамма как способов измельчения твердых тел, так и применяемых для этого машин, и устройств.

Для тонкого и сверхтонкого измельчения наиболее перспективно использование способа высокоскоростного самоизмельчения материалов, реализуемого путем придания механического ускорения измельчаемым частицам при помощи струй сжатого воздуха, пара или газа. Реализуется такой способ в струйных мельницах.

Множество существующих конструкций струйных измельчителей часто несовершенны, что обуславливает противоречивые суждения о возможностях струйного помола. В связи с этим актуальна проблема адаптации струйных мельниц в технологии сухого обогащения и при производстве высокодисперсных пигментов.

На наш взгляд более перспективным и экономичным является применение, при данном способе производства пигментов, струйных противоточных мельниц. Они имеют сравнительно малую металлоемкость, занимают незначительные производственные площади и позволяют совместить в одном аппарате несколько процессов – размол и воздушную сепарацию, а при использовании горячего воздуха – сушку, размол и воздушную сепарацию. Кроме этого они создают меньше шума и вибраций, а также требуют меньшее количество обслуживающего персонала [2]. Перечисленные преимущества позволяет компенсировать несколько большую энергоемкость струйных мельниц по сравнению с шаровыми. Этот вывод подкрепляется необходимой тонкостью помола и достаточно жесткими условиями на чистоту конечного продукта. [8].

Приведенные теоретические предположения были проверены в экспериментальных исследованиях возможности получения природных железоокисных пигментов из отходов вскрыши магнетитовых руд карьера Лебединского ГОКа в струйной противоточной мельнице [5]. Рассмотрев полученные данные измельчения отобранных проб красных железняков в струйной противоточной мельнице, был сделан вывод, о том, что основная масса размеров частиц в пробах удовлетворяет требованиям отраслевых стандартов на пигменты железоокисные.

Таким образом, использование струйных противоточных мельниц для производства пигментов из нетоварных магнетитовых руд представляется перспективным и вместе с ранее перечисленными

преимуществами имеет ещё одно – появляется возможность получения природных железоокисных пигментов с легко регулируемым в процессе производства гранулометрическим составом. Дисперсность получаемых пигментов значительно выше, чем у пигментов, получаемых традиционными способами.

Кроме того, после тщательного изучения вопроса применения противоточных струйных мельниц [4], можно сделать предположение, что они не только являются эффективными измельчителями, но и при их незначительной модификации, возможно совмещать два процесса: размол и выделение трудноразмалываемых примесей, какими, например, в железистых кварцитах являются рудные частицы железа. Следовательно, возможно получить на выходе из мельницы природные железоокисные пигменты различного назначения и одновременно осуществлять процесс сухого обогащения.

Объединяющей особенностью и основным недостатком методов обогащения рудных и нерудных материалов является применение водной среды, что приводит к усложнению технологической линии и соответственно увеличению временных и энергозатрат. Исходя из этого, можно определить стратегический подход при конструировании струйного измельчителя для производства высокодисперсных пигментов. Он складывается из следующих положений: высокое качество получаемых в измельчителе порошков; достижение максимально возможной производительности; струйный измельчитель должен удовлетворять требованию наименее возможных энергозатрат на измельчение.

Анализ данных, приводимых в литературе [1, 2] показывает, что производительность струйных противоточных мельниц значительно превышает производительность любого другого типа струйных измельчителей.

Энергозатраты в струйном измельчителе, работающем в замкнутом цикле, складываются из затрат энергии на разгон частиц материала, т.е. на энергоноситель (в нашем случае энергоноситель – сжатый воздух, вырабатываемый компрессором) и затрат энергии на сепарацию и отсос отработанных газов на очистку в фильтры. Как правило, мощность, затрачиваемая на привод сепаратора и вентилятора на порядок меньше мощности привода компрессора. Следовательно, расход воздуха должен быть минимально возможным. Расход энергоносителя, в свою очередь, зависит от диаметра подающих сопел и их количества (при условии постоянства давления). В отличие от прочих конструкций струйных измельчителей, противоточная мельница имеет два сопла, что можно отнести к ее преимуществам.

Качество получаемых в измельчителе порошков, определяемое в первую очередь гранулометрическим составом и тониной помола, напрямую зависит от типа струйного измельчителя. Согласно данных литературных источников [1, 2] тонина получаемого в струйных противоточных мельницах продукта несколько грубее, чем в мельницах с трубчатой и плоской помольной камерой. Однако, при доведении аэродинамических параметров газоматериальных потоков до оптимальных значений, путем конструктивных и технологических доработок струйных противоточных мельниц, качественные показатели получаемого в них продукта можно существенно повысить.

Таким образом, по сумме всех преимуществ перед остальными типами струйных измельчителей предлагается для получения высокодисперсных порошков пигментов использовать противоточную струйную мельницу, с возможностью реализации селективного измельчения материала и одновременным выводом одного из компонентов из зоны измельчения для снижения степени загрязненности получаемого пигмента нежелательными примесями трудноразмалываемых частиц.

Сструйная противоточная мельница будет включать: загрузочный бункер; блок помола; эжекторный узел; патрубки пылевозврата и патрубок пылеуноса; сепаратор; вентилятор; циклон; фильтр тонкой очистки; магистраль подвода сжатого воздуха.

Решение задачи, связанной с повышением эффективности (производительности) измельчения в струйной противоточной мельнице, будет осуществлено за счёт организации наименьшего аэродинамического сопротивления потоку готового продукта, выходящего из камеры помола [6]. Противоточную струйную мельницу, можно использовать как для измельчения пигментов, так и для обогащения бедных магнетитовых руд, потому как конструкция такой камеры позволяет изменять интенсивность отвода материала из зоны измельчения.

Потенциальными областями, в которых возможно внедрение предлагаемого технологического комплекса, являются предприятия промышленности строительных материалов, химической, фармацевтической, парфюмерной, пищевой промышленности и т.д. Существенный интерес в проведении исследований в данном направлении проявляют предприятия малого бизнеса, производящие краски, эмали, тонеры для принтеров и копиров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1967. – 257 с.
2. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета. – М.: Машгиз, 1962. – 264 с.
3. Беленький Е.Ф. Химия и технология пигментов: учебное пособие / Е.Ф. Беленький, И. Рискин – Ленинград: Химия, 1974. – 656 с.
4. Уваров В.А. Многофакторный статистический анализ показателей эффективности работы противоточной струйной мельницы / В.А. Уваров, Д.В. Карпачёв // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф., посвященной 30-летию БелГТАСМ. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч.4. – С. 291-296.
5. Уваров В.А. О возможности получения тонкодисперсных пигментов из отходов добычи магнетитовых руд при помощи струйных противоточных мельниц / В.А. Уваров, Д.В. Карпачёв, С.А. Анисимов // Интерстроймех-2001: Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 337-342.
6. Патент №2188078. Противоточная помольная камера струйной мельницы: №2001111095/03: заявл. 20.04.2001, опубл. 27.08.02. / В.С. Богданов, В.А. Уваров, А.Н. Потапенко, Д.В. Карпачёв, С.Б. Булгаков; Белгор. гос. технол. акад. строит. материалов;
7. Уваров В.А. Экспериментальные исследования помольной камеры противоточной струйной мельницы с регулируемым углом отвода готового продукта из зоны измельчения / В.А. Уваров, Д.В. Карпачёв, С.Б. Булгаков // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы док. III Междунар. науч.-практич. конф.-шк.-сем. молод. учён., аспирант. и докторантов. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2001. – Ч.2. – С.240-244.
8. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1972. – 239 с.

Карачевцева А.В., Анциферов С.И.

*Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ

Спрос на цемент в России увеличился, эта тенденция сохранится на ближайшие годы, так как цемент является важным компонентом при строительстве жилья и инфраструктуры [1]. Однако производство цемента является очень энергоемким, около 80% от общих энергетических затрат приходится на технологические процессы обжига и измельчения, поэтому важной задачей является сокращение удельных затрат топлива и электроэнергии. Для этого необходимо повышение энергоэффективности вращающихся печей [2].

Вращающаяся печь - это теплотехническое устройство, которое широко применяется в самых разных отраслях промышленности. Например, в производстве цемента, при этом затраты тепловой энергии составляют примерно 20–25% от общей стоимости производства цемента. Срок службы печи, которая используется для цементной промышленности составляет приблизительно 30-50 лет. Цементная вращающаяся печь имеет решающее значение для обжига клинкера, а ее характеристики горения и теплопередачи могут напрямую влиять на эффективность производства и качество цемента [3,4,5]

Печь представляет собой цилиндрический корпус, который вращается вокруг своей оси. Вращение способствует равномерному распределению и прогреву материала. Рассмотрим более подробно принципы работы вращающихся печей и области их применения.

Во вращающуюся печь непрерывно поступает материал, а затем подвергается обработке. Итак, существуют основные этапы, которые проходит материал.

Сначала материал через загрузочную часть попадает внутрь печи, выбор материала зависит от того какой конечный продукт необходимо выпустить. Затем при помощи горелки, которая сжигает топливо различных видов (например, твердое, жидкое и газообразное) происходит нагрев, который способствует осуществлению химических реакций, для того чтобы превратить исходный материал в необходимый полуфабрикат (клинкер).

Печь вращается от привода, что обеспечивает перемешивание материала, который продвигается последовательно вдоль корпуса вращающейся печи, благодаря её наклону.

Полученный полуфабрикат выходит из печи, охлаждается и поступает на дальнейшую переработку.

Во вращающейся печи эффективность теплообмена при получении клинкера намного выше, чем в других печах.

Печь состоит из корпуса (Рис.1), который выполнен из металлических обечаяек, изготовленных из жаропрочной стали, которая выдерживает высокие температуры превышающей 1300 °С, на корпус устанавливаются бандажи, которые опираются на роликоопоры. В состав печи входят теплообменные устройства, которые находятся внутри печи, например, цепные завесы. Печь имеет привод от которого происходит вращение [6].

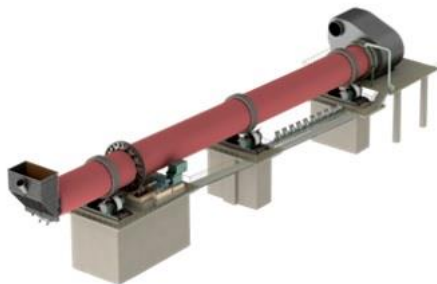


Рис. 1 – 3D-модель вращающейся печи

Загрузка материала осуществляется с холодного конца печи, а выгрузка осуществляется с горячего конца вращающейся печи. Внутри печи используют футеровку для защиты корпуса от высоких температур. Для обеспечения рациональных условий обжига во вращающейся печи используют датчики, которые регулируют температуру обжига, что играет большую роль в процессе получения клинкера.

В процессе работы вращающейся печи из неё выходят отходящие газы, которые проходят обработку через фильтры, чтобы снизить воздействие на окружающую среду.

Чаще всего вращающиеся печи используют в цементной отрасли для того чтобы получать клинкер, а также используют в металлургической и химической промышленности.

У вращающихся печей есть различные преимущества и недостатки.

Из плюсов это непрерывный процесс обжига, большая производительность, высокая скорость обработки материала, равномерное распределение температуры, что повышает качество конечного продукта, вращающиеся печи можно устанавливать, как длинные, а также короткие в зависимости от способа производства.

Из минусов вращающихся печей это сложность конструкции, и затраты на обслуживание.

Вращающиеся печи незаменимы в современном производстве. Их конструктивные особенности и широкий спектр применения, позволяют использовать их в различных отраслях. Одним из направлений совершенствования вращающихся печей является разработка и внедрение различных печных теплообменных устройств, что позволит улучшить эффективность их работы и снизить затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Siame, M.C. Integrating Process Re-Engineering Models in Cement Production to Improve Energy Efficiency / M.C. Siame, T. Zvarivadza, W. Edjeou, I.N. Simate, E. Lusambo // Appl. Sci. — 2024. — Sciences 14. — № 19. — P.1-20. <https://doi.org/10.3390/app14198850>

2. Kumar Verma Y. Thermal energy consumption and its conservation for a cement production unit, Environ / Y. Kumar Verma, B. Mazumdar, P // Ghosh Eng. Res. — 2020. — №26. — P.1-9. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.111>

3. Atmaca A. Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry / A. Atmaca, R. Yumrutas // Appl. Therm. Eng. — 2014. — Vol.66. — P.435–444. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.038>

4. Богданов В.С. Основы расчёта машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий / В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, Ю.М. Фадин, И.А. Семикопенко, Н.П. Несмеянов, В.Б. Герасименко // Старый Оскол: ТНТ. — 2012. — 680 с. — ISBN 978-5-94178-355-7.

5. Анциферов С.И. Совершенствование конструкции вращающейся печи / С.И. Анциферов, А.В. Карачевцева, А.С. Бочарникова, В.А. Жукова, Р.В. Луценко // Межвузовский сборник статей: Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.

Шухова. — 2022. — С. 12-17.

6. Кузнецов, В.А. Нестационарная температура стен цементной вращающейся печи / В.А. Кузнецов, А.В. Трулев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2012. — № 2. — С.150-153.

УДК 621.926

Кобяков Д.К.

Научный руководитель: Карпачев Д.В., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В АГРЕГАТЕ СО ВСТРЕЧНО СОУДАРЯЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ГАЗОВЗВЕСИ

Современные технологии всё чаще используют тонкодисперсные материалы в качестве готовых продуктов или сырья. Поэтому к их потребительским свойствам предъявляются высокие требования.

Чтобы повысить дисперсность строительных и других материалов, нужно улучшить существующее оборудование и создать новое для тонкого и сверхтонкого измельчения. Тонкодисперсные порошки — основной компонент современной технологии производства строительных и отделочных материалов. Дисперсность конечного продукта сильно влияет на качество готового изделия и определяет его технологические и потребительские свойства.

Всестороннее изучение существующих технологических процессов и оборудования позволяет выявить их основные недостатки и слабые стороны, а также определить наиболее эффективные способы устранения проблем.

Один из наиболее перспективных методов тонкого и сверхтонкого измельчения — это высокоскоростное измельчение материалов. Оно осуществляется путём придания механического ускорения частицам при помощи струй сжатого воздуха, пара или газа [1].

Струйная мельница — это тип мельницы, который используется для получения очень мелких частиц сухим методом (см. рисунок). С помощью струйных мельниц можно измельчать керамические и абразивные материалы, фармацевтические вещества, минеральные наполнители для композитных материалов и другие субстанции. Особенность конструкции струйных мельниц заключается в том, что у них нет движущихся частей. Это делает их более надёжными и

долговечными, а также упрощает процесс автоматического регулирования и дистанционного управления [2]. Измельчение можно совместить с другими технологическими процессами, такими как смешивание, сушка, обжиг, синтез и т. д.

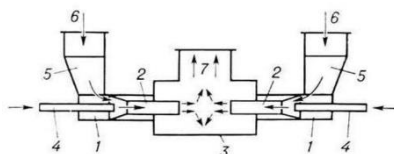


Рис. 1 – Струйная противоточная мельница

1 – эжекторы; 2 – разгонные трубы; 3 – размольная камера; 4 – трубы сжатого воздуха или пара; 5 – загрузочные воронки; 6 – подача измельчаемого материала; 7 – измельченный продукт

Рассмотрим факторы, определяющие эффективность процесса измельчения в агрегате со встречно соударяющимися потоками газозвеси:

1. Концентрация встречно движущихся частиц одинаковой массы.
2. Отсутствие потоков энергоносителя в зоне взаимодействия.
3. Увеличение концентрации подвергаемых измельчению частиц.
4. Наличие газодинамических возмущений в общем потоке частиц.

1. **Концентрация встречно движущихся частиц** — это один из параметров, который может влиять на процесс измельчения в струйных мельницах. Она определяется как количество частиц, проходящих через определённую область пространства за единицу времени.

При увеличении концентрации встречно движущихся частиц вероятность их столкновения и разрушения возрастает. Это связано с тем, что при столкновении частицы передают друг другу часть своей кинетической энергии, которая переходит в энергию деформации и разрушения.

Это возможно, если формировать струи плоской формы и направлять их тангенциально к выпуклым криволинейным поверхностям. Так частицы до встречи сохраняют направление движения и запас кинетической энергии [3].

Однако теория концентрации не может полностью объяснить все аспекты работы струйных мельниц. Например, она не учитывает влияние воздушных или паровых потоков на процесс измельчения.

Кроме того, она предполагает, что все частицы имеют одинаковую прочность, что не всегда соответствует действительности.

2. Отсутствие потоков энергоносителя в зоне взаимодействия. Струйные мельницы являются примером системы, в которой отсутствие потоков энергоносителя может повлиять на работу. С помощью струйных мельниц можно измельчать керамические и абразивные материалы, фармацевтические вещества, минеральные наполнители для композитных материалов и другие субстанции.

Для обеспечения надёжной работы струйной мельницы необходимо контролировать наличие и параметры потоков воздуха или пара. Это может включать в себя мониторинг давления, скорости, температуры и других характеристик потока. При необходимости принимаются меры для восстановления или поддержания требуемых параметров потока.

Потоки отводятся благодаря безотрывному движению по криволинейным поверхностям, поэтому на частицы не действуют в зоне их встречи потоки энергоносителя.

3. Концентрация встречно движущихся частиц определяется как количество частиц, проходящих через определённую область пространства за единицу времени. При увеличении концентрации встречно движущихся частиц вероятность их столкновения и разрушения возрастает. Это связано с тем, что при столкновении частицы передают друг другу часть своей кинетической энергии, которая переходит в энергию деформации и разрушения.

Теория концентрации не может полностью объяснить все аспекты работы струйных мельниц. Например, она не учитывает влияние воздушных или паровых потоков на процесс измельчения. Кроме того, она предполагает, что все частицы имеют одинаковую прочность, что не всегда соответствует действительности.

Увеличение концентрации частиц в зоне взаимодействия может привести к повышению эффективности измельчения и снижению энергозатрат. Однако это также может вызвать перегрузку оборудования и его поломку. Поэтому необходимо тщательно контролировать параметры потоков воздуха и пара, чтобы обеспечить надёжную работу струйных мельниц и избежать нежелательных последствий [4].

4. Газодинамические возмущения — это изменения параметров потока газа или жидкости, которые могут влиять на движение и взаимодействие частиц в этом потоке. В струйных мельницах, где измельчение происходит при столкновении частиц в псевдоожижённом слое (аэрозоле) под воздействием потоков воздуха или пара высокого

давления, наличие таких возмущений может оказывать существенное влияние на процесс измельчения. Их создают ускоряющие каналы, например, в виде сопел Лавалья. Чем большее количество возмущающих воздействий испытывает каждая частица на пути от входа в камеру до выхода из неё, тем выше уровень накопленных ею внутренних напряжений и тем больше вероятность её разрушения.

Существует несколько видов газодинамических возмущений, которые могут возникать в струйных мельницах:

- **Турбулентность.** Это хаотическое движение частиц в потоке, которое может приводить к их столкновениям и разрушению. Турбулентные потоки возникают из-за неоднородности потока или его взаимодействия с препятствиями.

- **Вихри.** Это вращательные движения частиц в потоке, которые также могут вызывать их столкновения и разрушение. Вихри образуются из-за закручивания потока или наличия препятствий в нём.

- **Пульсации.** Это периодические изменения скорости и давления в потоке, которые могут вызывать колебания частиц и их разрушение. Пульсации возникают из-за работы насосов, компрессоров или других устройств, создающих поток.

Наличие газодинамических возмущений может как положительно, так и отрицательно влиять на процесс измельчения в струйных мельницах. С одной стороны, они могут способствовать увеличению вероятности столкновения частиц и их разрушения. С другой стороны, они также могут приводить к неравномерному распределению частиц по размерам и снижению качества конечного продукта.

Для того чтобы минимизировать влияние газодинамических возмущений на процесс измельчения, необходимо тщательно контролировать параметры потока воздуха или пара. Это может включать в себя регулирование скорости, давления, температуры и других характеристик потока. Также можно использовать специальные устройства для стабилизации потока, такие как диффузоры, конфузоры и сопла [5]. Чем большее количество возмущающих воздействий испытывает каждая частица на пути от входа в камеру до выхода из неё, тем выше уровень накопленных ею внутренних напряжений и тем больше вероятность её разрушения.

Таким образом, для обеспечения эффективной работы агрегата со встречно соударяющимися потоками газовзвеси необходимо учитывать все эти факторы и принимать меры для их оптимизации. Это позволит повысить производительность процесса измельчения, снизить энергозатраты и улучшить качество конечного продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко Основные процессы в производстве строительных материалов // - 2е. изд. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 550 с.
2. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е., Устинова И.Д., Иванов К.С. Современные методы и тенденции развития процессов тонкого и сверхтонкого измельчения // Известия высших учебных заведений // Горный журнал. 2019. №8. С. 111-112.
3. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Вялых В.П. Центробежные противоточные мельницы. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. 225 с.
4. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета / В.И. Акунов. М.: Машгиз, 1962. – 15с.
5. Еремин Н.Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов / Н.Ф. Еремин. – М.: Высшая школа, 1986. 35с.

УДК 62-1/-9

Косенкова Т.Е.

Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОБЗОР НЕСТАНДАРТНЫХ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МЕЛЬНИЦ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ПАТЕНТАХ

Трубные шаровые мельницы применяются для дробления и тонкого помола твердых каменистых пород, строительных обломков, керамики, угля и других материалов. Их используют на горнорудных комбинатах, на производстве для изготовления вяжущих строительных материалов, фаянса и керамики, асфальта, для приготовления сухих примесей в асфальт, в лабораториях и т.д.

Данные агрегаты используются во многих мировых отраслях промышленности благодаря простоте обслуживания, высокой надежности и высокому качеству готового продукта, несмотря на относительно низкий КПД, который может варьироваться от 2 до 20% по сравнению с другими конструкциями для помола материалов. [1,2]

Поскольку стандартные шаровые мельницы уже достигли предела в своих габаритах, изобретатели и инженеры-конструкторы постоянной модернизируют сборочные узлы помольных машин или разрабатывают новейшие непривычные для восприятия мельничные конструкции. И

патенты некоторых из таких конструкций будут рассмотрены подробнее в этой статье.

Суть оригинальности первого патента заключается в форме барабана мельницы. Вместо привычного трубного корпуса эта мельница имеет барабан из 2 двух похожих по форме секций 4, которые, в свою очередь, разделяются еще на две подсекции. Они состоят из равнобедренных и равносторонних треугольников, сваренных друг с другом под определенными углами и формирующих торцевые отверстия 5,6 в форме многоугольников. [3]

Во время работы мельницы такая ломаная форма барабана будет способствовать разнообразию направлений частиц материала и мелющих тел, что во много раз повысит вероятность их столкновения и, следовательно, интенсифицирует процесс помола материала в целом. Это также позволит сократить энергетические затраты или повысить производительность данного агрегата.

Только недостатками такой конструкции станет увеличение металлоемкости и более длительное время ремонта из-за сложности замены быстроизнашивающихся деталей в барабане такой формы.

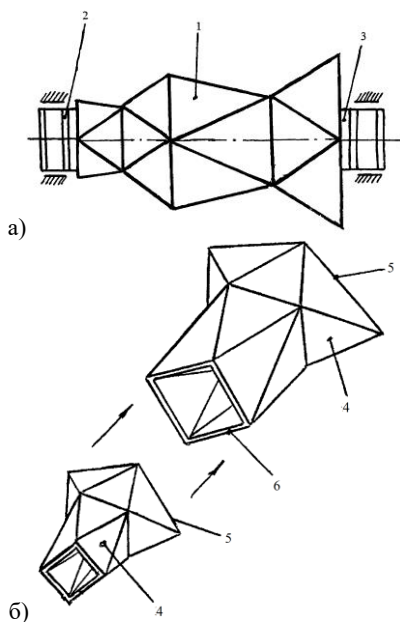


Рис. 1 – Коническая трубная винтовая мельница по патенту RU2547933C1:

а) общий вид мельницы, б) строение барабана.

1 – загрузочная цапфа, 2 – барабан, 3 – разгрузочная цапфа, 4 – секции, 5 – I тип многогранника со стороны торца, 6 – II тип многогранника со стороны торца.

Необычностью конструкции второго патента является вертикальное расположение барабана мельницы, которая тоже является шаровой, но принципиально отличается по строению со стандартной трубной шаровой мельницей. [4]

Рабочей основой конструкции является два соединенных друг с другом полых полукорпуса 4,5 и два ротора 8,9 внутри них, имеющие между собой пружинные элементы 11. Верхний ротор 8 свободно посажен на штифты 10, запрессованные на нижнем роторе 9. Между полукорпусами и роторами имеются кольцевые проточки 15,17 с находящимися в них шариками 16, благодаря которым во время вращения ротора и происходит процесс помола. Материал засыпается в загрузочное устройство 35 и по трубе подается в отверстие 6, попадая в полость между верхним полукорпусом и ротором. После сырье спускается на верхний ряд вращающихся по окружности шариков 16, с помощью которых осуществляется грубый помол. Далее материал проходит через зазор 36 и, пройдя эксцентриковую проточку, спускается ко второму ряду шариков 19 в нижнем роторе, которые двигаются в облуче 20, осуществляя процесс тонкого помола.

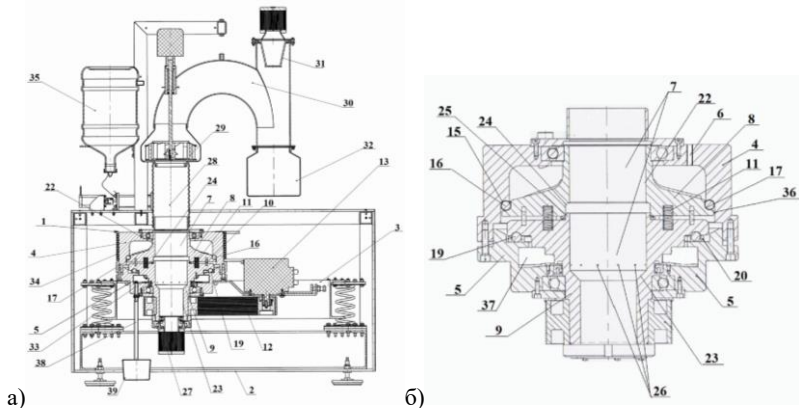


Рис. 2 – Вертикальная шаровая мельница по патенту RU 2792885C1:

а) общий вид мельницы, б) строение рабочего узла.

1 – внутренняя зона мельницы, 2 – основной корпус, 3 – опорная рама, 4 – верхний полукорпус, 5 – нижний полукорпус, 6 – загрузочное отверстие, 7 –

сквозная полость, 8 – верхний ротор, 9 – нижний ротор, 10 – штифт, 11 – пружинные элементы, 12 – ременная передача, 13 – электродвигатель, 15 – кольцевая проточка, 16 – шарики верхние, 17 – ответная кольцевая проточка, 19 – шарики нижние, 20 – обруч, 22 – сквозное отверстие верхнего ротора, 23 – сквозное отверстие нижнего ротора, 24 – проточка, 25 – выступ нижнего ротора, 26 – сквозные радиальные отверстия, 27 – фильтр, 28 – патрубок, 29 – корпус крыльчатки, 30 – выпускная труба, 31 – фильтр, 32 – емкость для приема микрочастиц, 33 – отверстие вывода остаточного материала, 34 – трубки с хладагентом, 35 – загрузочное устройство, 36 – зазор, 37 – нижняя полость.

После готовый материал спускается в нижнюю полость 37 и через отверстия 26 всасывается потоком воздуха, создаваемым крыльчаткой 29 в сквозную полость 7 и уносит в выпускную трубу 30 с установленным в ней фильтром 31, задерживающим конечный продукт, который падает в емкость 32.

Главным достоинством такого агрегата является получение частиц, приближенных к нано-размеру, что позволяет получать продукт высокого качества, при измельчении материала большой начальной фракции.

Недостатком же станет сложность конструкции и, как следствие, долгий и довольно затратный ремонт, особенно если конструкция будет являться крупногабаритной, промышленного масштаба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Герасименко В.Б., Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий - Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 680с.

2. Богданов В.С., Богданов Д.В., Семикопенко И.А., Процессы в производстве строительных материалов – 2-е изд., стереотип. - Старый Оскол: ТНТ, 2018. – 436с.

3. Пат. RU 2547933 C1, B02C 17/04. Коническая трубная винтовая мельница / Г.В. Серга, С.М. Резниченко; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет". № 2013157662/13, заявл. 2013.12.24; опубл. 2015.04.10, Бюл. № 10, 12 с.

4. Пат. RU 2792885 C1, B02C 17/16. Вертикальная шаровая мельница / А.Р. Гарифуллин, П.Ф. Попов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ПРОММЕТЭКС". № 2022122847, заявл. 2022.08.25; опубл. 2023.03.28, Бюл. № 10, 12 с.

Косенкова Т.Е.

Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМОЛА КЛИНКЕРА И ДОБАВОК В ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

В России существует огромное множество производственных мощностей по самым разнообразнейшим отраслям экономики, значительный процент от которых составляет производство строительных материалов. Самый базовой составляющей в этой отрасли является производство цемента, он является незаменимым материалом во всех строительных работах.

Одним из основных процессов в производстве этого вяжущего порошка является помол, который может происходить сразу на нескольких переделах. Помол сырья или клинкера с добавками осуществляется в мельничных установках и чаще всего для этого используются трубные шаровые мельницы, имеющие ряд технических преимуществ над другими помольными конструкциями. [1,2]

Поэтому для дальнейшего повышения производительности помола и сокращения энергопотребления этой установки в наши дни проводится постоянная модернизация как отдельных узлов мельницы, так и всей конструкции в целом.

На данный момент известно, что рабочий объем мельницы используется только на 35%, а около 50% мелющих тел просто не участвуют в процессе измельчения материала, преобразуя при трении механическую энергию в тепловую. [1,2,3]

Для увеличения рабочего объема в барабане трубной мельницы был проведен поиск патентов. В результате него было найдено подходящее техническое решение, которое хоть и является довольно давним, но оно до сих пор не испытано на практике и не имеет даже теоретических исследований по работоспособности и степени полезности такой конструкции, что является дополнительным поводом для того, чтобы обратить на нее внимание.

Рассматриваемая конструкция межкамерной перегородки состоит из 3 сегментов, первый из которых расположен под углом в 135-170° по отношению к оси барабана мельницы, второй сегмент имеет горизонтальное положение на высоте 0,5-0,4 диаметра барабана и может иметь длину равную 1-1,4 диаметра барабана, а третий сегмент

расположен вертикально. Все эти сектора неразрывно идут друг за другом и представляют единую конструкцию для модернизации межкамерной перегородки. Она может иметь сварную или литую вариации, для изготовления могут использоваться как стальные стержни, так и отдельные детали в виде плит или сегментов. [4]

На рисунке 1 изображена схема трубной шаровой мельницы с описываемой трехсекционной перегородкой в двух положениях. Сама мельница имеет стандартную конструкцию, состоящую из барабана, загрузочной и разгрузочной крышек и стоит на цапфовых подшипниках.

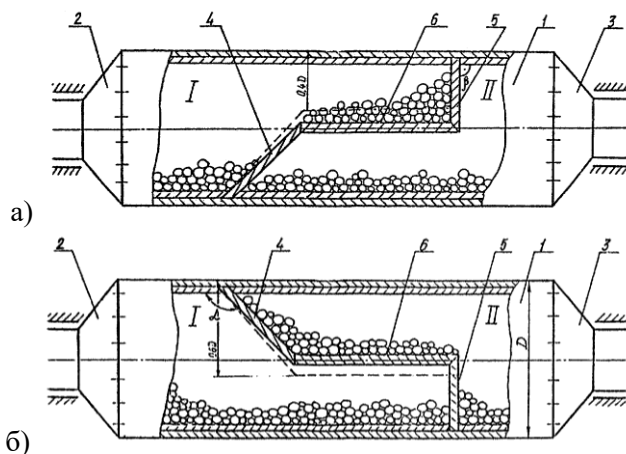


Рис. 1 – Схема трубной шаровой мельницы по патенту SU 1814919 A1:
а) в начальном положении, б) после оборота на 180°.

1 – барабан, 2 – загрузочная крышка, 3 – разгрузочная крышка,
4 – наклонный сектор, 5 – вертикальный сектор,
6 – горизонтальный сектор.

Главным достоинством подобного конструктивного решения будут являться увеличение рабочего объема мельницы в 1,5-2 раза, которое, в свою очередь, будет способствовать увеличению производительности данного оборудования, а также снижение металлоемкости за счет простоты конструкции и уменьшению ее веса.

Основным недостатком такого технического решения станет сложность ее монтажа и, следовательно, не самый быстрый ремонт, по сравнению с современными межкамерными перегородками.

Но если в процессе будущих исследований будет доказано значительное повышение производительности помольного агрегата, по сравнению с имеющейся, которую станет возможно достичь с помощью такой решетки, то время простоя мельницы, затраченное на монтаж секторов, сможет быстро окупиться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Герасименко В.Б., Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий - Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 680с.
2. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций - М: Машиностроение, 1990г. - 416с.
3. Богданов В.С., Богданов Д.В., Семикопенко И.А., Процессы в производстве строительных материалов – 2-е изд., стереотип. - Старый Оскол: ТНТ, 2018. – 436с.
4. Пат. SU 1814919 A1, B02C 17/18. Межкамерная перегородка трубной мельницы / В.С. Богданов, Ю.М. Фадин, К.А. Юдин, М.Ю. Ельцов; заявитель и патентообладатель В.С. Богданов, Ю.М. Фадин, К.А. Юдин, М.Ю. Ельцов. № 4890722/33, заявл. 1990.12.18; опубл. 1993.05.15 Бюл. № 18, 2 с.

УДК 621.928.235

Малахов М.А.

Научный руководитель: Ханин С.И. д-р техн. наук, проф.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ВИБРАЦИОННЫХ ГРОХОТОВ

В современной промышленности, связанной с переработкой материалов, классификация трудногрохотимых материалов представляет собой важную и сложную задачу. Вибрационные грохоты играют ключевую роль в этом процессе, обеспечивая эффективное разделение материалов по размерам частиц.

В патенте [1] авторами предлагается снижение недостатка вибрационных грохотов в виде низкой эффективности грохочения легких материалов. В качестве примера легкого материала авторы

рассматривают угол. Ввиду вынужденного грохочения подобных материалов в толстом слое, нижнему классу материала требуется предварительно пройти через толстый слой верхнего класса, что естественно снижает его эффективность грохочения.

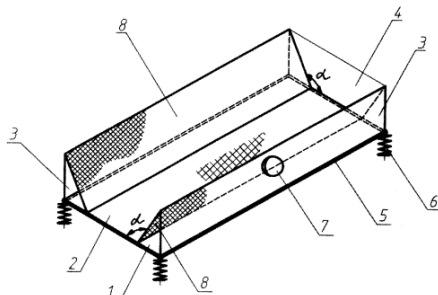


Рис. 1 – Вибрационный грохот:

- 1 – короб несущий; 2 – днище; 3 – борт; 4 – торцевая стенка;
5 – рама несущая; 6 – упругие опоры; 7 – вибропривод; 8 – наклонные просеивающие поверхности

Для решения указанного недостатка авторами предложена новая, относительно не сложная конструкция вибрационного грохота (см. рис.1), отличающаяся тем, что просеивающая поверхность имеет трапецидальную форму сита, с отличающимися размерами отверстий на нижней части и стенках. Повышение эффективности грохочения ожидается за счёт уменьшения в периферийных зонах толщины слоя материала, проходимого частицей нижнего класса до достижения ею просеивающей поверхности.

К недостаткам данного грохота можно отнести следующее: увеличение металлоемкости, усложнение конструкции.

Решение проблемы низкой эффективности грохочения в толстом слое материала предложили авторы патента [2] путем добавления в конструкцию вибрационного грохота дополнительных возбуждающих элементов. Авторы сообщают, что дополнительное вибровоздействие на материал приводит к интенсификации перемешивания сыпучего материала, что в свою очередь повышает его эффективность грохочения за счёт увеличения скорости прохождения частиц нижнего класса через слой материала к просеивающей поверхности.

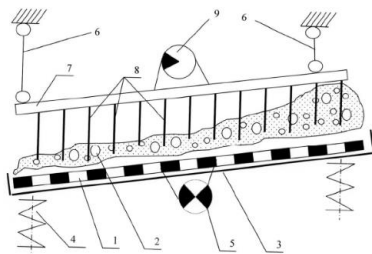


Рис. 2 – Вибрационный грохот для сортировки сыпучей смеси:
1 – сито; 2 – классифицируемый материал; 3 – короб; 4 – упругие опоры;
5 – вибровозбудитель; 6 – подвижные опоры; 7 – рама; 8 – стержни;
9 – привод

К указанным авторами достоинствам данной конструкции, можно добавить возможность оснащения ею уже существующих грохотов без изменения их конструктива.

К недостаткам данной конструкции можно отнести следующие: усложнение конструкции, увеличение элементов подверженных износу, усложнение доступа к просеивающей поверхности для проведения технического обслуживания.

В работе [3] автором рассматривается каскадная конструкция колосниковой просеивающей поверхности вибрационного грохота для разделения на фракции трудногрохотимой горной массы с содержанием глинистых включений до 30%. Отличительной особенностью данной конструкции является применение консольных защемленных колосников из пружинной стали. При этом форма колосников обеспечивает образование открытой щели.

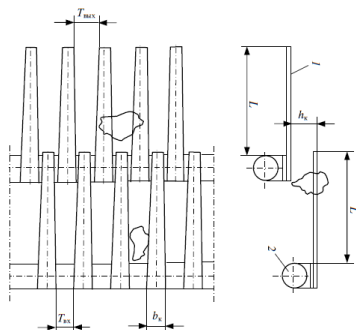


Рис. 3 – Вариант расположения каскадов консольной просеивающей поверхности:

1 – консольный защемленный колосник; 2 – опора колосника

Преимуществом каскадного расположения колосников является создание условий для принудительной переориентации классифицируемого материала на просеивающей поверхности. Данный фактор снижает вероятность события, когда частица нижнего класса попадает на колосник и перемещается по нему до конца просеивающей поверхности, засоряя собой верхний класс. Консольное крепление колосников позволяет им совершать дополнительные колебания, повышая эффективность грохочения и снижая вероятность заклинивания материала на просеивающей поверхности.

К недостаткам данной конструкции можно отнести следующее: консольный способ крепления колосников потребует дополнительного усиления опоры колосника и короба грохота; пружинная сталь имеет относительно более высокую стоимость.

В настоящее время большинство научных работ связано с работой грохота в толстом слое материала по причине того, что возможности повышения производительности и эффективности грохочения за счет увеличения геометрических параметров машины и увеличения частоты колебаний ограничены их механической надежностью [4]. Поэтому поиск новых решений повышения эффективности и производительности вибрационных грохотов остается актуальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 164464 РФ, МПК В07В 1/40. Вибрационный грохот / Вайсберг Л.А., Балдаева Т.М., Иванов К.С., Коровников А.Н., Котова Е.Л., Трофимов В.А., Устинов И.Д.; заявитель и патентообладатель НПК «Механобр-техника» (ЗАО). №2016106233/03, заявл. 24.02.2016; опубл. 10.09.2016, бюл. № 25. – 2 с.

2. Пат. 31145 РК, МПК В07В 1/40. Вибрационный грохот / Дудкин М.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Ким А.И., заявитель и патентообладатель Восточно-Казахстанский государственный технический университет. 2015/0841.1; заявл. 08.07.2015; опубл. 16.05.2016, бюл. №5. – 4 с.

3. Юдин А.В. К обоснованию параметров вибрационного грохота для трудногрохотимой горной массы [Текст] // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 4. С. 68-74.

4. Болдаева, Т.М. Повышение эффективности вибрационного грохочения на основе моделирования технологических закономерностей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13 / Т.М. Болдаева – СПб, 2019. – 109 с.

*Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Бражник Ю.В., Сухоруков И.Н.
Научный руководитель: Богданов В.С., д-р, техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

К настоящему времени трубные и барабанные шаровые мельницы достигли своих предельных размеров и дальнейшее их совершенствование предполагается проводить по следующим направлениям.

Разработка специальных конструкций футеровок, обеспечивающих максимальный к.п.д. передачи энергии от привода к дробящей среде, высокую надежность продольной классификации и предотвращающих поперечную сегрегацию МТ, имеющих рациональный профиль при минимальной массе и максимальной долговечности [1, 5].

Анализ диаграмм помола в трубных мельницах открытого и замкнутого циклов измельчения показывает, что наиболее эффективно процесс измельчения происходит на первых участках мельниц, когда частицы имеют размер более 1 мм и их измельчение в основном происходит по зародышевым трещинам. Когда размер частиц становится таким, что они уже не имеют дефектов структуры - эффективность процесса измельчения резко снижается. Причем уже в первой камере мельницы открытого цикла имеется около 50% частиц, размер которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым к готовому продукту. Дальнейшее нахождение частиц размером менее 80 мкм в мельнице приводит к их переизмельчению, что, в конечном счете, снижает качество готового продукта. Кроме этого в результате переизмельчения происходит налипание частиц на мелющие тела и футеровку, затем происходит обратный процесс - агрегация и агломерация [2].

При этом, сложность изучения механики мелющей загрузки в барабанных мельницах и проектирование рациональных режимов обусловлена возникновением нескольких характерных зон, отличающихся кинематикой. К ним относится сегрегация - расслоение мелющих тел по размерам в поперечном и осевом направлениях. При малых частотах вращения барабана мельницы происходит концентрация мелких шаров в средних частях поперечного сечения, а

при скоростях каскадного и водопадного режимов в центральных областях концентрируются крупные шары, в то время как мелкие шары отжимаются к периферии.

Что касается осевого распределения, то в цилиндрических мельницах в следствие разности уровня шароматериальной загрузки у входной и выходной горловин и большого их "пробега" при скатывании по наклонной плоскости крупные шары концентрируются у разгрузочного конца, что приводит к снижению эффективности измельчения.

Работа трубной мельницы состоит в последовательной обработке МТ различных размеров частиц материала при перемещении его от загрузки к выгрузке. Крупный материал должен быть вначале подвергнут ударному воздействию крупных МТ, а затем, по мере продвижения вдоль мельницы, воздействию мелющих тел постепенно уменьшающихся размеров. Крупные шары эффективны на первых участках мельницы, на последующих - нерациональны, так как сила удара будет излишне велика, а количество ударов - недостаточно. Следовательно, для поддержания соотношения размеров шаров и частиц измельчаемого материала МТ должны располагаться в строго определенном положении.

По длине камеры также целесообразно изменить размеры МТ, обеспечивая на отдельных участках режимы работы и размер мелющих тел, соответствующий гранулометрии измельчаемого материала.

Таким образом, характер распределения МТ в осевом направлении существенно будет влиять на эффективность процесса измельчения, поскольку создается соответствие разрушающих воздействий, их силы и характера размеру частиц, подвергающихся измельчению на данном участке или стадии.

Поэтому важнейшим фактором, в значительной мере решающим поставленные задачи, является правильное решение о выборе типа бронефутеровки. В работах [3, 4] рассматривался вопрос влияния рабочего профиля бронефутеровки на эффективность процесса измельчения. Установлено, что профиль футеровки определяет режим работы МТ и их классификацию по длине мельницы.

В связи с этим возникает необходимость рассмотреть конструкции и функциональное назначение бронефутеровки как средства получения цементов с учетом физико-механических свойств измельчаемого материала и требований к зерновому составу готового продукта.

Учитывая, что в мельнице происходит стадийный характер измельчения - от ударного в начале до истирающего в конце его - необходимо наиболее рационально использовать энергию мелющих

тел, как главных энергоносителей в помольных агрегатах. Должны меняться энергия, частота и характер измельчающих воздействий мелющих тел. Однако, это остается одним из наименее изученных вопросов.

Внедрение прокатной футеровки (БРОПЭКС) позволяет, в частности, организовать различные режимы работы мелющих тел вдоль оси барабана мельницы (по ходу продвижения измельчаемого материала) за счет футеровки камер участками (поясами) с различными комбинациями укладки профилей. Целью создания таких бронефутеровок является предотвращение проскальзывания внешних слоев загрузки относительно поверхности бронефутеровки.

Несмотря на многочисленные попытки теоретического и экспериментального обоснования механизма классификации и значительный промышленный опыт. надежные методы расчета геометрических параметров таких бронефутеровок не разработаны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда В.Г. Цемент. - М.: Стройиздат, 1981. - 464 с.
2. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц. - М.: Машиностроение, 1965. - 184 с.
3. Кулыгия И.П., Иванов Г.Н. и др. Повышение износостойкости бронеплит для футеровки мельниц. - "Цемент", 1969, N 9, с.18-19.
4. Несмеянов Н.П. Сравнительная оценка эффективности использования основных типов бронеплит / Несмеянов Н.П., Картыгин А.В., Денисова Е.М., Зайцев М.С. // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVIII. – 2019. – С. 266-268.
5. Несмеянов Н.П. Внутримельничные устройства и их влияние на процесс измельчения / Несмеянов Н.П., Белоус А.С., Королева Л.А., Сузороков И.Н., Газиев Х.Х. // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXII. – 2023. – С. 208-211.

КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НА ГРС

Теплообменники масштабно применяются на различных этапах добычи и подготовки нефти и газа. Оборудование, которое используется в данной отрасли, должно удовлетворять специальным требованиям: работать при экстремально высоких показателях давления и температуры, выдерживать воздействие агрессивных сред, иметь небольшие габариты и функционировать с двухфазными средами.

Предприятия, занимающиеся добычей и переработкой нефти и газа, применяют, как кожухотрубные, так и пластинчатые теплообменники. Однако, кожухотрубные теплообменники встречаются чаще, чем пластинчатые. Но можно заметить, что пластинчатые теплообменники набирают свои обороты по расширению.

Теплообменное устройство предназначено для передачи теплоты от нагретого теплоносителя к более холодному. Требования к теплообменникам включают: высокую производительность тепла, экономичность, простота конструкции, компактность, удобство в монтаже и обслуживании, надежность и соответствие техническим стандартам и требованиям по охране труда.

Кожухотрубные теплообменники состоят из основных элементов, таких как пучки труб, трубные решетки, корпус, крышки, патрубки. Концы труб крепятся в трубных решетках сваркой, развальцовкой, пайкой (рис.1) [1].

Трубки соединяются с двумя трубными решетками с помощью вальцевания или сварки. Трубы, которые собираются в пучке, размещаются в шахматном порядке по вершинам равностороннего треугольника. Крышки съемные и предназначены для входа и выхода теплоносителя, который течет по трубам. Межтрубное и трубное пространство разделяются. В межтрубном пространстве находится второй теплоноситель, который имеет входной и выходной штуцеры. Для облегчения очистки, по трубам проходит вещество, которое содержит твердые включения.

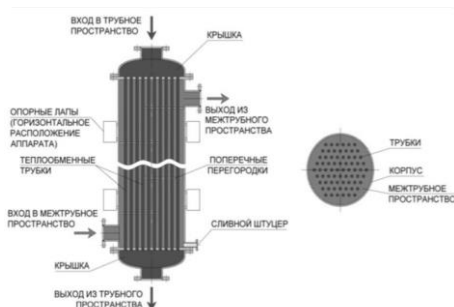


Рис. 1 – Схема кожухотрубного теплообменника

Кожухотрубные теплообменники могут располагаться как вертикально, так и горизонтально.

Преимущества кожухотрубных теплообменников:

- обширный диапазон применения по рабочим параметрам;
- минимальные требования к очистке воды;
- повышенная стойкость к гидроударам;
- простота конструкции и низкая стоимость;

Недостатки:

- возможность температурных деформаций;
- низкий коэффициент теплопередачи.

Стальные кожухотрубные теплообменники бывают разных видов:

Н – с неподвижными трубными решетками; К – с температурным компенсатором на кожухе; П – с плавающей головкой; У – с U-образными трубами; ПК – с плавающей головкой и компенсатором на ней.

На рисунке 2 представлены кожухотрубные теплообменники со следующими конструкционными особенностями: а) жесткая конструкция, неподвижные трубные решетки; б) перегородки и мембранный компенсатор; в) линзовый компенсатор; г) U-образные трубки; д) W-образные трубки; е) жесткое крепление одной трубной доски и свободное перемещение второй доски вместе с внутренней крышкой трубной системы; ж) сильфонный компенсатор; з), и) – сальниковый компенсатор; к) – с поперечным током [2].

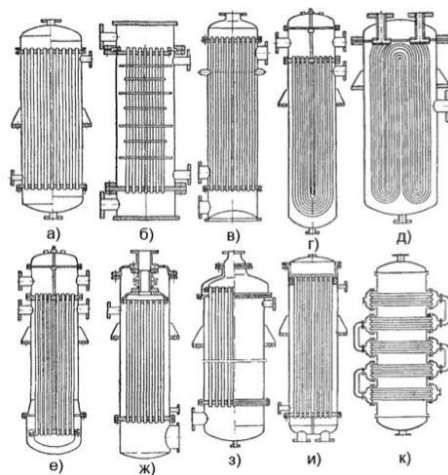


Рис. 2 – Конструктивные исполнения кожухотрубных теплообменников

В настоящее время пластинчатые теплообменники стали популярными из-за их высокой эффективности теплообмена, простотой в производстве, компактностью, низкими показателями гидравлического сопротивления, удобством монтажа и очистке от загрязнений. Схема теплообменника представлена на рис. 3 [3].

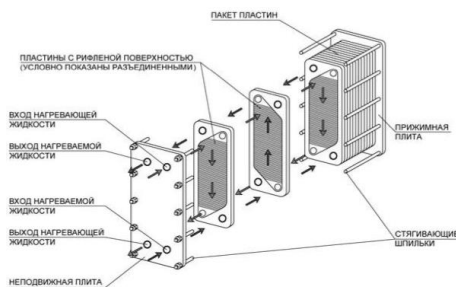


Рис. 3 – Схема пластинчатого теплообменника

В этих теплообменниках применяются отдельные пластины, разделенные резиновыми прокладками, а также две концевые камеры, рамы и стяжные болты. Пластины изготавливаются штамповкой из тонкой стали (толщиной 0,7 мм).

Проточную часть пластин изготавливают с гофрированным или ребристым узором, чтобы увеличить поверхность теплообмена и турбулизацию потока. При этом гофры могут быть расположены

горизонтально или образовывать «елочку» с шагом 11,5; 22,5; 30 мм и высотой 4-7 мм [4].

На пластинах устанавливаются резиновые прокладки различной формы для обеспечения герметичности конструкции; теплоноситель направляют либо вдоль пластины, либо через отверстие в следующий канал. Теплоносители движутся прямотоком, противотоком или по смешанной схеме. Площадь поверхности теплообмена одного устройства может варьироваться от 1 до 160 м², а количество пластин от 7 до 303.

В пластинчатых теплообменниках максимальная температура теплоносителя составляет 150 °С (с учетом свойств резиновой прокладки), а максимальное давление должно быть не более 10 кгс/см².

Среди преимуществ пластинчатого типа теплообменника можно выделить следующее: интенсивность процесса теплообмена, компактность, возможность полной разборки для легкой очистки, использование низких температурных напоров, низкие потери давления электроэнергии на электрические насосы [5].

К недостаткам можно отнести: коррозию материалов, из которых сделаны прокладки, и ограниченная теплостойкость, высокая себестоимость, квалифицированный обслуживающий персонал.

Теплообменники, состоящие из попарно сваренных пластин, используются только при вероятности загрязнения поверхности нагрева одним из теплоносителей. В случае, когда можно исключить загрязнение нагреваемой поверхности с обеих сторон, тогда используются сварные неразборные теплообменники.

Основными моментами в сравнении этих двух видов теплообменников является то, что пластинчатые теплообменники могут эксплуатироваться гораздо дольше чем кожухотрубные, имеют более высокую эффективность в процессе теплообмена. Также благодаря конструкции пластинчатые теплообменники меньше по габаритам, компактнее и имеют незначительные затраты при эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булыгин Ю.А. Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности: учеб. пособие / Ю.А. Булыгин, С.С. Баранов // Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». – 2015. – 100 с.
2. Хван В.С. Теплообменник / В.С. Хван, С.А. Пиронко // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – №5. – 4 с.

3. Шах Р.К. Основы проектирования теплообменников / Р.К. Шах, Д.П. Секулич // СПб.: БХВ-Петербург. – 2013 – 40 с.
4. Какак С. Теплообменники: выбор, расчет и проектирование / С. Какак, Х. Лю // М.: Машиностроение. – 2004.
5. Руднев В.С. Теория теплообмена / В.С. Руднев, Р.А. Садыков, А.Р. Александров // М.: Высшая школа. – 2000.

УДК 621.926.

Сорокин Ю.В.

Научный руководитель: Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СНИЖЕНИЕ ВОЗВРАТА КРУПКИ ПРИ ПОМОЛЕ ЦЕМЕНТА ЗАМКНУТЫМ СПОСОБОМ

Именно техническое перевооружение производства предопределяет устойчивость стабильной работы предприятия в современных условиях.

Важнейшим технологическим переделом при производстве цемента является изготовление сырьевой муки путем помола сырья. Эффективность работы шаровой мельницы определяется разными факторами. В значительной степени она зависит от загружаемого материала и организации его доставки в мельницу.

На технологической линии помола по замкнутому циклу ООО «Серебрянский цементный завод» установлена цементная мельница Ø4,4x15 метров (4м и 9,5м - длины первой и второй камер соответственно) производительностью 100 т/ч. Производителем мельницы является китайская компания Cemteck. В связке с ней работает сепаратор второго поколения TES-230 производительностью 100 т/ч.

Выпускаемый цемент - марка ЦЕМ II/A-III 42,5 Н. Процентное содержание поступающих материалов: гипс – 7%, шлак- 15.5%, известняк-4.5%, клинкер-73%.

При замкнутом способе производства цемента в питающую течку мельницы подается не только клинкер с добавками (гипс, известняк, шлак в зависимости от марки производимого цемента), но и крупка, которая возвращается в мельницу как некондиционный материал после сепаратора. До 56% крупки и мелкодисперсной пыли не требуется нахождения в первой камере (камера грубого помола). В камере грубого помола она превращается в «подушку» для крупных частиц и основного

материала, тем самым снижая эффективность помола. Кроме того, возрастает удельный расход электроэнергии.

Для решения данной проблемы было необходимо из общей массы материала, поступающего в мельницу, отделить крупку и мелкодисперсную пыль и заставить ее оказаться во второй камере, минуя первую.

Вариант увеличения разряжения в мельнице путем увеличения производительности вентилятора аспирационного рукавного фильтра TDM(M)-96/6 цементной мельницы не рассматривался, так как при увеличении производительности вентилятора пропорционально увеличился бы пылеунос цемента из мельницы, что в свою очередь повлекло бы увеличение нагрузки на аспирационный рукавный фильтр.

Было осуществлено следующее техническое решение проблемы. На питающей течке (в нижней ее части, где поступающий на помол материал идет по лотку) была подобрана (по производительности и давлению) и установлена воздуходувка HRD 2/5T, а также смонтирована труба для принудительной подачи воздуха. Эту трубу врезали прямо в лоток (рис.1). Благодаря воздушному потоку крупка (которой грубый помол не требуется) отделяется из общей массы поступающего материала и уносится сразу во вторую камеру (камеру тонкого помола) цементной мельницы Ø4,4x15 метров.



Рис.1 – Предлагаемое техническое решение для течки

Исследование проводится уже полгода. Предложенное техническое решение позволило поднять производительность цементной мельницы Ø4,4x15 метров на 4-5 т/ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б.: Основы расчета машин и

оборудования предприятий строительных материалов и изделий: учебник. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 680 с.

2. Несмеянов Н.П., Богданов В.С., Горшков П.С., Бражник Ю.В.: Механическое оборудование общего назначения предприятий строительных материалов и изделий: Ч.П. Помольное оборудование: учебное пособие предназначено для студентов направления бакалавриата. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 177 с.

3. Юдин К.А., Крысина Ю.Н. Особенности работы вертикальной тарельчато – валковой мельницы в условиях ПАО «Мордовцемент»// Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс». – Губкин, 2017, С. 44-47.

УДК 621.928.3:66.066

Фесенко Е.Е.

Научный руководитель: Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРИФУГ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Центрифуга — устройство для разделения двухфазных неоднородных систем веществ с помощью центробежной силы. Основные части: быстро вращающийся пустотелый ротор (сплошной или перфорированный), закреплённый на валу, который может быть вертикальным или горизонтальным. Загрузка неоднородных систем, как и вывод продуктов разделения, может происходить непрерывно или периодически. Ротор - это цилиндр или конус с крышкой и днищем, во внутреннюю полость которого поступает суспензия или эмульсия. Под действием центробежной силы твердые частицы скапливаются у стенки ротора, а жидкость располагается ближе к его оси. Затем обе фазы выводятся из ротора.

Центрифуги разделяют жидкие системы двумя методами: центробежным фильтрованием и осаждением. Они делятся на фильтрующие с перфорированным ротором, осадительные со сплошным ротором и комбинированные[1].

В фильтрующих центрифугах жидкость фильтруется через материал, а твёрдые частицы остаются на поверхности. Осадок можно удалить во время или после работы.

В центрифугах с осаждением твёрдые частицы оседают на стенках ротора под действием центробежной силы, образуя кольцевой слой. Жидкая фаза выводится через борт или отсасывающую трубу. Осадок удаляется во время или после остановки центрифуги.

Все центрифуги можно разделить на категории по определённым свойствам, и в зависимости от того, для каких целей они используются, выделяют три основных типа: фильтрующие, осадительные и разделительные.

По конструкции они могут быть горизонтальные, вертикальные, наклонные, с вертикальным валом и упругой верхней опорой, подвесные с верхним и нижним приводом, а также вертикальные трубчатые центрифуги. А в зависимости от способа удаления осадка – с ручным удалением через верхний борт или днище, с контейнерной или кассетной выгрузкой, с ножевой выгрузкой, с гравитационной (саморазгружающейся) выгрузкой, со шнековой выгрузкой, с поршневой выгрузкой, с центробежной (инерционной) выгрузкой, с вибрационной выгрузкой и с гидравлической выгрузкой. Каждый из этих методов имеет свои особенности и преимущества, позволяя выбрать наиболее подходящий вариант в зависимости от требований процесса и условий эксплуатации[2].

Область использования промышленных центрифуг достаточно обширна и охватывает практически все производственные сферы. В химической промышленности это устройство играет важную роль и используется на многих предприятиях. Она стала неотъемлемой частью различных технологических процессов. Один из таких — производство лимонной кислоты. (Рис. 1)

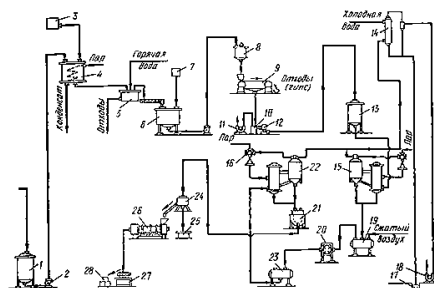


Рис. 1 – Технологическая схема химического цеха производства лимонной кислоты: 1 – сборник сброженных растворов; 2 – насос; 3 – сборник известкового молока; 4 – нейтрализатор; 5 – нутч-фильтр для отделения цитрата кальция; 6 – реактор; 7 – бачок-мерник серной кислоты; 8 – промежуточный сборник; 9 – ленточный вакуум-фильтр для отделения гипса;

10 – вакуум-сборник; 11- вакуум-насос; 12 – насос; 13 – сборник раствора лимонной кислоты; 14 – барометрический конденсатор с ловушкой; 15 – вакуум-аппарат первой упаковки; 16 – пароструйный компрессор; 17 – барометрический ящик; 18 – вакуум-насос; 19 – монтажу; 20 – фильтр-пресс; 21 – кристаллизатор; 22 – вакуум-аппарат второй упорки; 23 – промежуточный сборник; 24 – центрифуга; 25 – сборник маточного раствора; 26 – барабанная сушилка; 27 – трясосито; 28 – упакованная лимонная кислота

Как и в других подобных производствах, её используют на последних этапах, когда необходимо выделить и высушить полученное вещество из раствора. После процесса брожения производство лимонной кислоты переходит к завершающей стадии — к комплексной обработке.

Для очистки используется активированный уголь с ионными смолами. Очистка происходит в реакторах 15 и 22 с неподвижным слоем в несколько этапов, включая процесс выпаривания при определённой температуре, кристаллизацию в вакууме 21, отделение кристаллов в центрифуге 24, сушку с использованием псевдооживленных слоёв 26 и процедуру просеивания 27. Кристаллизация лимонной кислоты осуществляется с помощью циркуляции.

В промышленности, связанной с производством полимеров, также активно применяются центрифуги. Это можно увидеть на примере производства полиэтилена. (Рис. 2)

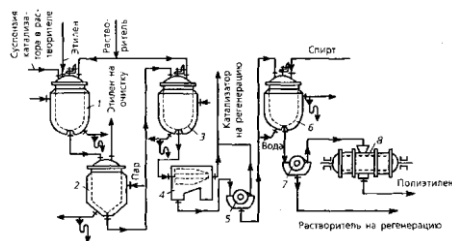


Рис. 2 – Схема производства полиэтилена высокой плотности при среднем давлении в присутствии окиснохромового катализатора:

1 – реактор с мешалкой; 2 – газоотделитель; 3 – аппарат для разбавления; 4 – центрифуга; 5, 7 – барабанные фильтры; 6 – осадитель; 8 – сушилка

Процесс получения полиэтилена включает в себя несколько этапов: подготовку сырья, включающего этилен, растворитель и катализатор; полимеризацию этилена, отделение и регенерацию катализатора, а также выделение полимера и отделение растворителя

В завершении процесса вязкий раствор полиэтилена с суспензированным катализатором разбавляется в аппарате 3 горячим растворителем для снижения вязкости и облегчения фильтрации, а затем поступает в центрифугу 4 и барабанный фильтр 5. На этих этапах из раствора полимера отделяется катализатор, который направляется на регенерацию.

Наиболее востребованными конструкциями центрифуг в химической промышленности являются вертикальные модели. В этой статье мы сосредоточимся на центрифугах, функционирующих в периодическом режиме. (Рис. 3)

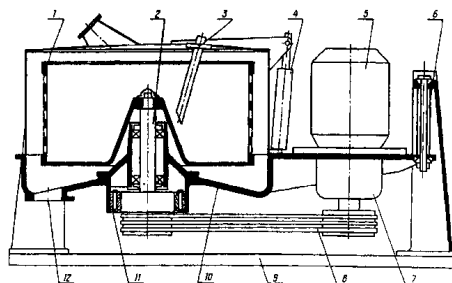


Рис. 3 – Центрифуга с верхней выгрузкой осадка:

- 1 – ротор; 2 – вал; 3 – питатель; 4 – механизм подъёма;
- 5 – электродвигатель; 6 – колонны; 7 – гидромuftа; 8 – клиноременная передача; 9 – фундаментная плита; 10 – станина; 11 – тормоз;
- 12 – сливной штуцер

Суспензия подается в ротор во время работы центрифуги через питатель 3. Время отжима, количество и длительность промывок зависят от технологии, конечной влажности осадка и чистоты фильтрата.

Фильтрат и промывочная жидкость отводятся через сливной штуцер 12, расположенный в станине 10. Осадок выгружается через верхнюю часть ротора 1 при полной остановке.

Суспензию можно обрабатывать двумя способами: её подачей до заполнения ротора с последующим прекращением и выводом осветленной жидкости через отводящую трубку; и непрерывной подачей с накоплением твердой фазы в роторе и выводом осветленной жидкости через борт до заполнения ротора осадком. Оставшаяся жидкость выводится через отводящую трубку[3].

Первый способ обеспечивает высокую степень разделения, но имеет меньшую производительность по сравнению со вторым.

Рассмотренные в статье конструктивные особенности центрифуги и её применение в различных схемах производства показывают, что такое оборудование является высокопроизводительным, имеет простую конструкцию, а так же нуждается в минимальном обслуживании, из-за чего так широко используется.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической технологии. / А.Н. Плановский — 5-е изд., стер. — Москва: Химия, 1968 — 848 с.
2. Машины и аппараты химических производств и нефтепереработки: учебник для вузов / А.С. Тимонин, Г.В. Божко, В.Я. Борцев, [и др.] / под общей редакцией А.С. Тимонина. — Калуга: Издательство «Ноосфера», 2017. — 948 с.
3. Лукьяненко, В.М. Промышленные центрифуги / В.М. Лукьяненко, А.В. Таранец. — Москва: Химия, 1974 — 376 с.

Оглавление

Карачевцева А.В., Анциферов С.И.

ТЕПЛООБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ . 3

Фесенко Е.Е.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ФИЛЬТРУЮЩАЯ ЦЕНТРИФУГА И РАСЧЁТ ЕЁ
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ..... 6

Богданов В.С., Бражник Ю.В., Камбур А.С., Оноприенко Ю.С., Исса
Ю.М.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ РОТОРНОГО
СМЕСИТЕЛЯ С ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ 9

Бражник Ю.В., Мусаелян В.Л., Науменко В.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
В ПРЕСС-ВАЛКОВОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ 13

Бредихин Н.В., Варламов П.П., Кузьмин А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ С ВИНТООБРАЗНЫМ
ИСПОЛНЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА 17

Варламов П.П., Бакланова П.М., Бредихин Н.В.

ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ С ВИНТООБРАЗНЫМ ИСПОЛНЕНИЕМ
РАБОЧЕГО ОРГАНА 20

Гуденко О.В., Бащева Е.С., Василенко О.С.

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
АППАРАТОВ МУЛЬТИКОПТЕРНОГО ТИПА 24

Гуденко О.В., Камбур А.С., Науменко В.В., Оноприенко Ю.С., Исса
Ю.М.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
СМЕСЕЙ 28

Гуденко О.В., Топчий Я.П., Беляев Ю.В.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
АППАРАТОВ САМОЛЕТНОГО ТИПА..... 32

Ефросимов К.Е., Марков Р.Э., Эргашов Ш.З., Якшина А.В.

ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ДИСПЕРГАТОРЕ СО ВСТРЕЧНО
СОУДАРЯЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ГАЗОВЗВЕСИ 35

Ефросимов К.Е., Марков Р.Э., Эргашов Ш.З., Якшина А.В.

СТРУЙНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПИГМЕНТОВ 41

Карачевцева А.В., Анциферов С.И.

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ 47

Кобяков Д.К.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В АГРЕГАТЕ СО ВСТРЕЧНО
СОУДАРЯЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ГАЗОВЗВЕСИ 50

Косенкова Т.Е.

ОБЗОР НЕСТАНДАРТНЫХ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
МЕЛЬНИЦ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ПАТЕНТАХ 54

Косенкова Т.Е.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМОЛА КЛИНКЕРА И
ДОБАВОК В ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ..... 58

Малахов М.А.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ВИБРАЦИОННЫХ
ГРОХОТОВ..... 60

Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Бражник Ю.В., Сухоруков И.Н.

ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ 64

Соловьёва В.А.

КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НА
ГРС..... 67

Сорокин Ю.В.

СНИЖЕНИЕ ВОЗВРАТА КРУПКИ ПРИ ПОМОЛЕ ЦЕМЕНТА ЗАМКНУТЫМ СПОСОБОМ	71
---	----

Фесенко Е.Е.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРИФУГ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	73
---	----