

нагрузку на валковые прессы, соответственно снижая производительность установок гранулирования;

— для обеспечения адгезии пылевых частиц, улучшения сыпучести, снижения слеживаемости и влагопоглощения готового гранулированного полуфабриката окончательную обработку его производить в барабанном смесителе гидрофобизирующими композициями на основе аполярных углеводородов и алифатических аминов (смеси жирного амина и экстракта нефтяного, жирного амина и вакуумного газойля или просто жирный амин).

Таким образом, в результате выполненного исследования технологического процесса получения полуфабриката гранулированного хлористого калия в условиях флотационных обогатительных фабрик ОАО «Беларуськалий», разработаны предложения по повышению его эффективности на основе технической модернизации некоторых видов основного технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дихтиевская Л. В. Разработка технологии получения гранулированных калийных удобрений с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами / Л. В. Дихтиевская, В. В. Шевчук, Н. П. Крутько // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2010. – Т. 54, № 6 – С. 57–61.

2. Черепанова М. В., Пойлов В.З., Потапов И.С. Особенности процесса агломерации пылевидного хлорида калия в кипящем слое / М. В. Черепанова, В. З. Пойлов, И. С. // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3-2. – С. 452-456.

УДК 622.788.36.012.5(042.3)

Высоцкая Н.А.

(ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством»)

Францкевич В.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ НА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ

Числовое значение динамических усилий на гранулу определенного размера зависит от вида ее движения. Частицы, находящиеся внутри вращающегося барабана, прижимаются к поверхности барабана под действием силы тяжести и центробежной силы, отклоняются от вертикали на угол β_d – угол ссыпания (подъема).

Величина данного угла зависит от: коэффициента трения тела о поверхность барабана; радиуса барабана; скорости вращения барабана.

На перемещение частиц в барабане влияют 3 силы: трения, тяжести и центробежная. По достижении максимального угла β_d частица теряет равновесие по отношению к барабану. Сразу исчезает действие центробежной силы на частицу, это приводит к уменьшению силы трения. Скатывание частиц со стенок барабана характеризуется ускорением. Наибольшая скорость достигается, когда силы сдвига и трения уравниваются. Частицы, оставаясь без движения относительно внешней системы координат непрерывно скатываются по внутренней поверхности барабана. В случае остановки частицы после пересечения вертикальной плоскости, под действием силы тяжести, она будет вращаться в одну сторону с барабаном. Такое движение характеризуется подъемом-скатыванием.

С ростом скорости вращения барабана увеличивается угол сыпания (подъема). Увеличение происходит с ростом коэффициента трения. Основной динамической характеристикой порошкообразных и гранулируемых материалов является коэффициент внутреннего трения f . Внутреннее трение происходит в слое сыпучего материала и характеризуется плотностью укладки; упругими свойствами частиц твердой фазы; формой частиц; размерами; площадью фактических контактов.

Для порошкообразных материалов, между частицами которых существует сцепление, показатель внутреннего трения равен тангенсу угла внутреннего трения (угла откоса) и определяется как (1):

$$f = \operatorname{tg} \beta \quad (1)$$

Угол естественного откоса для порошкообразных материалов – до 35° , для гранулированных – до 40° . Тогда, подставив числовые значения угла естественного откоса для порошкообразных материалов, получим результаты, представленные в таблице 1:

Таблица 1 – Зависимость коэффициента внутреннего трения от угла естественного откоса для порошкообразных материалов

Параметр	Порошкообразные материалы		
Угол естественного откоса β	25°	30°	35°
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7

Сыпучесть материалов – способность порошков под действием собственной силы тяжести скатываться с наклонной поверхности, в случае гранулирования методом окатывания в барабанном грануляторе – с изогнутой поверхности. Сыпучесть зависит от формы поверхности

частиц; плотности; гранулометрического состава; сцепления частиц и трения между ними и характеризуется углом трения крупы о поверхность барабана и друг о друга.

Коэффициент сыпучести K_c определяется выражением (2):

$$K_c = \frac{1 - \sin \beta}{1 + \sin \beta} \quad (2)$$

Подставив числовые значения в выражение, представленное выше, получим значения и сведем их в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов сыпучести, зависящие от угла внутреннего трения

Показатель	Значения		
Угол естественного откоса β	25°	30°	35°
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7
Коэффициент сыпучести K_c	0,41	0,33	0,27

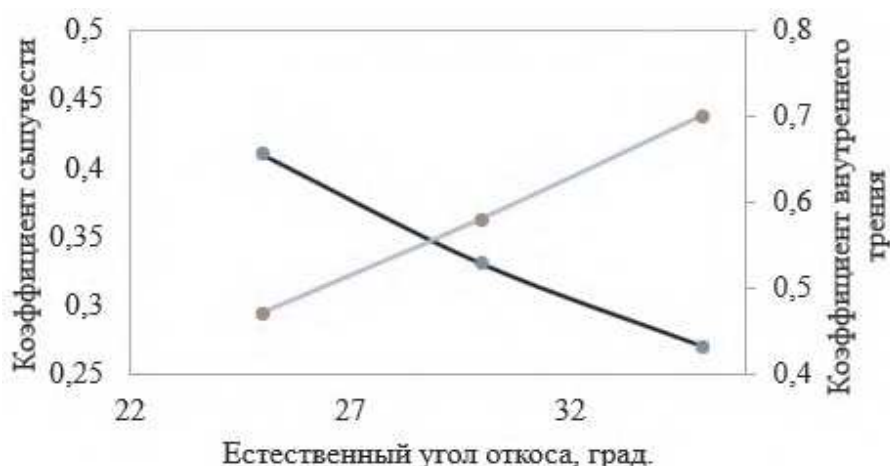


Рисунок 1 – График зависимостей коэффициента сыпучести и коэффициента внутреннего трения от угла естественного откоса

Из графика (рис. 1) видно, что с увеличением угла внутреннего трения коэффициент сыпучести уменьшается, а коэффициент внутреннего трения увеличивается. Также можно увидеть, что с увеличением коэффициента внутреннего трения, коэффициент сыпучести падает.

При малой степени заполнения барабана и относительно небольшой силе трения материала о внутреннюю поверхность барабана сыпучий материал ведет себя, как сплошное тело.

При увеличении наклона поверхности загрузки до значения выше, чем угол естественного откоса, избыточный материал начинает осыпаться,

стремясь восстановить первоначальный угол. Центр тяжести при этом остается неизменным, вокруг него вращается материал: по свободной поверхности он сыпается вниз, около стенки – поднимается вверх.

При гранулировании наиболее практичным является режим переката, при котором основная масса сыпучего материала перемещается, описывая круги, со скоростью, равной угловой скорости вращения барабана. По достижении наивысшей точки, слой материала определенной толщины осыпается вниз. Нижние слои переходят на круговые траектории, расположенные ближе к центру барабана, а верхние слои переходят на траектории большего радиуса.

Числовые значения линейных скоростей определяются силами трения слоев материала друг о друга и скоростью вращения барабана. Чем больший коэффициент трения имеет частица, тем быстрее она теряет свою скорость при ссыпании.

Коэффициент $K_{п/о}$, отражающий отношение количества поднимающегося сыпучего материала $G_{под}$ к общему количеству материала $G_{об}$, зависящий от параметров вращения барабана, определяется формулой (3):

$$K_{п/о} = \frac{G_{под}}{G_{об}} = f \frac{\omega^2 R}{g} \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения барабана; R – радиус барабана; g – ускорение свободного падения.

Для барабанного гранулятора, выпускаемого в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с опытным производством», угловая скорость вращения барабана варьируется от 4 до 12 об/мин. Диаметр барабана – 3 м.

Подставив в выражение (3) числовые значения, с учетом различных значений коэффициента внутреннего трения и угловой скорости вращения барабана, получим значения, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значение коэффициента $K_{п/о}$ с учетом различных значений коэффициента внутреннего трения и угловой скорости вращения барабана

Параметр	Значения								
	$\omega_1 = 4$ об/мин			$\omega_2 = 8$ об/мин			$\omega_3 = 12$ об/мин		
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7	0,47	0,58	0,7	0,47	0,58	0,7
Коэффициент $K_{п/о} \cdot 10^{-4}$	3,5	4,4	5,3	12,2	15	18,1	28,8	35,5	42,8

Из рисунка 2 видно, что с увеличением коэффициента внутреннего трения увеличивается и коэффициент, отражающий отношение количества поднимающегося материала к общему количеству материала

в барабане. Также можно увидеть, что с увеличением угловой скорости вращения барабана при одинаковых значениях коэффициента внутреннего трения, коэффициент $K_{п/о}$ увеличивается. Это говорит о том, что при малой скорости вращения барабана меньшее количество гранулируемого материала поднимается относительно всего материала, засыпанного в барабан, на образование гранул готового продукта окатывания уходит больше времени.

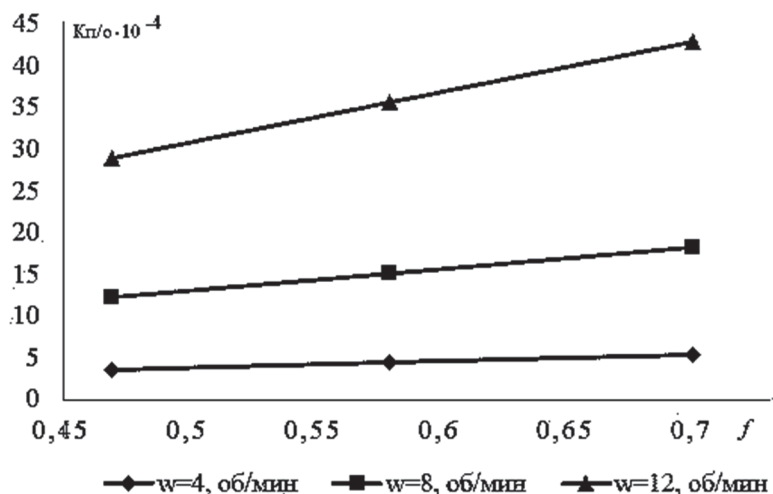


Рисунок 2 – График зависимостей коэффициента, отражающего отношение количества поднимающегося материала к общему количеству материала от коэффициента внутреннего трения при различной частоте вращения барабана

Гранулы, находящиеся внутри потока и соприкасающиеся с поднимающимся слоем, подвергаются большим динамическим нагрузкам, нежели гранулы, скатывающиеся из верхней части потока. Толщина скатывающегося слоя влияет на гранулометрический состав продукта окатывания [1].

Выводы. Процесс гранулирования сложно-смешанных минеральных удобрений на сегодняшний день еще недостаточно изучен и имеет ряд несовершенств. Для решения данной проблемы требуется детальное изучение процесса на каждом его этапе [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая Н.А., Францкевич В.С., Салцевич В.В., Дубовский А.А. Гранулирование методом окатывания на движущейся поверхности / Горная механика и машиностроения. – 2023. – № 1. – С. 88-94
2. Высоцкая Н.А., Францкевич В.С. Получение НРК-удобрений методом окатывания // Материалы III Междунар. науч.-технич. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке / БГТУ, г. Минск, (2–3 декабря 2020). – Минск, 2020. – С. 212-215.