

критерия эквивалентно увеличению размеров размольного ролика. В свою очередь размеры ролика влияют на величину углов в зоне контакта, входящих в расчетную формулу (8). Расчетные данные по мощности близки по значению к полученным в производственных условиях.

#### Литература

1. Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П.Е. Вайтехович. – Минск: БГТУ, 2008. – 220 с.
2. Летин, Л.А. Среднеходные и тихоходные мельницы / Л.А. Летин, К.Ф. Роддатис. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
3. Вайтехович, П.Е. Основные направления и перспективы использования роlikо-маятниковых мельниц / П.Е. Вайтехович // Труды БГТУ. Серия 2. Химические технологии, биотехнология и геоэкология. – 2017. – №1 (199). – С. 203–208.

УДК 631.83.85:66.099.2(045)(476)

**Высоцкая Н.А.**

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

**Францкевич В.С.**

(БГТУ)

### **ПРИМЕНЕНИЕ БАРАБАННЫХ ГРАНУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНОСМЕШАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Во многих отраслях промышленности (химической, металлургической, пищевой, строительных материалов, и др.), а также в сельском хозяйстве широкое применение получили гранулированные материалы [1, 2].

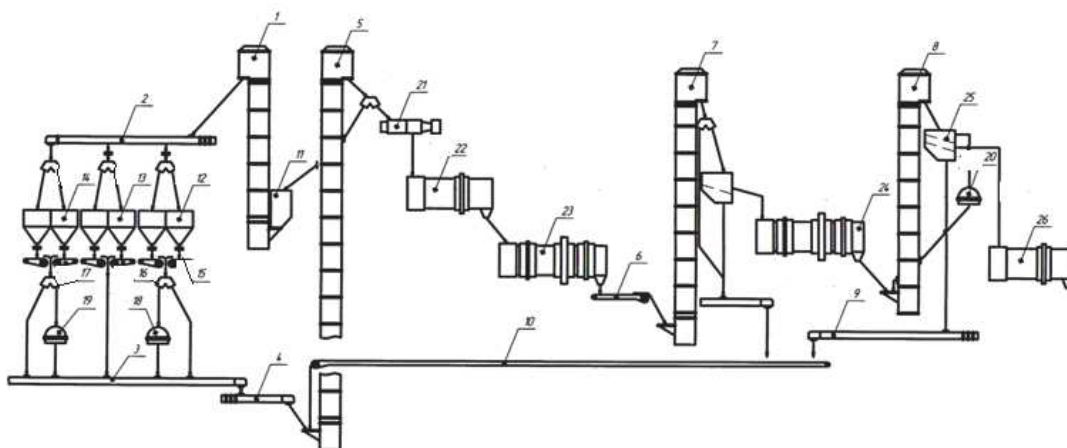
Правильно выбранные методы и условия гранулирования обеспечивают получение готового продукта с требуемыми качественными показателями [2].

НРК – универсальное азотно-фосфорно-калийное минеральное удобрение, содержащее все основные питательные элементы, которые обеспечивают сбалансированное питание растений. Достоинства НРК-удобрения заключаются в том, что они обладают высокими физико-химическими и механическими свойствами.

Гранулирование НРК-удобрений методом окатывания состоит из четырех стадий:

- смешение исходного порошка с частицами ретурра и связующим;
- образование гранул из мелких частиц и дробление комков;
- окатывание и уплотнение гранул;
- упрочнение связей в результате перехода жидкой фазы в твердую.

**Линия для получения сложно-смешанного удобрения (рис. 1).** Исходные компоненты (мелкозернистый КСI, карбамид, аммофос, суперфосфат, наполнитель), поступающие из загрузочного бункера, при помощи транспортирующих механизмов подаются в промежуточные бункеры, затем – в дозаторы. Компоненты, требующие измельчения, предварительно дробятся в дробилках, и далее транспортирующими устройствами подаются в смеситель, куда также поступает сульфат аммония. Полученная в смесителе влажная шихта поступает в загрузочный патрубок шнекового загрузчика, который подает шихту во внутреннее пространство корпуса барабана-гранулятора, при этом обеспечивая равномерность и однородность потока поступающей влажной шихты.

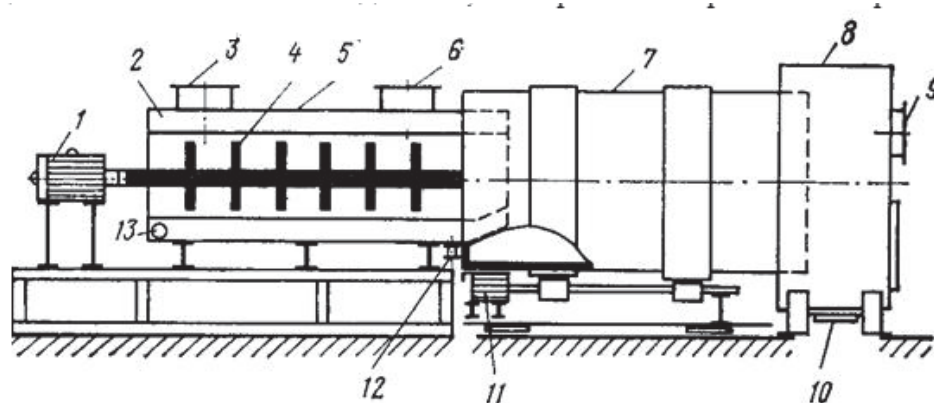


**Рисунок 1 – Линия для получения сложно-смешанного удобрения:**  
 1, 5, 7, 8 – элеваторы; 2, 3, 4, 6, 9, 10 – конвейеры; 11–14 – бункеры;  
 15–17 – дозаторы; 18–20 – дробилки; 21 – смеситель;  
 22 – барабан-гранулятор; 23 – барабан-сушилка; 24 – барабан-холодильник;  
 25 – грохот; 26 – барабан-кондиционер

Заданная производительность барабана-гранулятора обеспечивается углом его наклона в сторону выгрузки, который варьируется в пределах от 1 до 3°, определяя экспериментально оптимальный угол для конкретного гранулометрического состава продукта, и устанавливаются посредством изменения угла наклона опорной платформы. В барабане-грануляторе происходит окатывание исходной шихты, отгранулированная шихта поступает в барабан-сушилку, а затем, при помощи транспортирующих механизмов, – в барабан-холодильник, затем элеватором в грохот. Крупную фракцию измельчают в дробилке. Дробленый

материал вместе с мелкой фракцией в качестве ретура возвращают в технологический процесс транспортирующими устройствами. Готовый продукт обрабатывается в барабане-кондиционере антислеживателем [2, 3].

Барабанный гранулятор состоит из цилиндрического корпуса, привода, загрузочного и разгрузочного устройства на торцах, форсунок для подачи связующего. Наклон корпуса составляет 1–3° к горизонту. Частота вращения барабанного гранулятора – 5–30 об/мин. Гранулятор представляет собой металлический цилиндр, наклоненный в сторону выгрузки (рис. 2). Барабан включает в себя бандаж, которыми опирается на роликовые опоры опорно-упорной станции.



**Рисунок 2 – Барабан-гранулятор:**

- 1 – привод смесителя; 2 – двойной кожух смесителя;  
 3 – люк подачи шихты; 4 – лопасти; 5 – смеситель;  
 6 – отверстие выхода воздуха; 7 – барабан; 8 – камера охлаждения;  
 9 – люк подачи воздуха; 10 – люк выгрузки гранул; 11 – привод барабана;  
 12 – труба отвода пара; 13 – труба подачи пара**

Гранулятор состоит из смесителя, барабана для окатывания гранул, камеры охлаждения, привода смесителя и привода барабана. Смеситель имеет двойной кожух, в который через трубу подается пар для подогрева шихты. Отработанный пар отводится через трубу. Через люк в смеситель поступает предварительно смешанная шихта, туда же подается вода или раствор связующего. При помощи лопастей смесителя происходит равномерное перемешивание шихты с водой или раствором связующего. Перемешанная шихта поступает из смесителя в барабан, при вращении которого из шихты образуются гранулы. Гранулы через люк непрерывно выгружаются из гранулятора. Для сушки гранул через люк в камеру охлаждения подается воздух, который «выходит» через отверстие 6.

Получаемые в барабанных грануляторах гранулы проходят сортировку на ситах. Размер отверстий сита соответствует размеру гранул.

Высокая производительность – основное требование, предъявляемое ко всем грануляторам. Она зависит от конструктивных и технологических факторов, а также от свойств материала, подаваемого на грануляцию. Производительность барабанных грануляторов варьируется от 30 до 70 т/ч.

В настоящее время применяют барабаны с гладкой внутренней поверхностью. У таких барабанов есть существенный недостаток – гранулируемый продукт плохо захватывается стенкой и быстро соскальзывает с нее. Этот недостаток можно устранить использованием насадок, которые монтируются на всем пути движения гранулируемого продукта в барабане или на некоторой его части.

Для защиты внутренней стенки от налипания гранулируемого продукта, ее покрывают секциями из резины. При этом используется листовая резина. Резина деформируется при вращении барабана, не позволяя гранулируемому материалу налипать на стенки. Под действием собственного веса и веса резины, при вращении барабана, налипший слой разрушается.

К основным недостаткам барабанных грануляторов относятся:

- низкий коэффициент загрузки,
- широкий фракционный состав гранулята, проскальзывание материала по стенкам барабана,
- невозможность контроля процессом образования гранул.
- гранулы, получаемые в барабанах, отличаются малой прочностью, а также неоднородностью фракционного состава и.

Применение метода окатывания при гранулировании минеральных удобрений позволяет получить однородные гранулы, обладающие правильной шарообразной формой, уменьшить слеживаемость и предотвратить разрушение продукта при транспортировании и внесении в почву. Однако этот процесс на сегодняшний день еще недостаточно изучен и имеет ряд нерешенных проблем. Так, важным параметром проведения гранулирования является продолжительность окатывания, определение которой носит чисто эмпирический характер [4].

## Литература

1. Высоцкая, Н.А. Особенности получения NPK-удобрений методом окатывания / Н.А. Высоцкая, В.С. Францкевич // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 79–85.

2. Высоцкая, Н.А. Влагосодержание шихты комплексных удобрений / Н.А. Высоцкая, В.С. Францкевич // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 1. – С. 63–70.

3. Прушак, В.Я. Разработка и внедрение новой технологической линии по производству сложносмешанных NPK-удобрений / В.Я. Прушак, И.М. Заяц, В.И. Новокшонова // Proceedings: XII Национальная конф. с междунар. участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых, Варна, 26–30 июня 2013 г. / Научно-технический Союз по горному делу, геологии и металлургии. – Варна, 2013. – С. 359–362.

4. Сковородников П.В., Черепанова М.В. Особенности процесса гранулирования органоминеральных удобрений методом окатывания // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 9. С. 51–59.

УДК 66.021.3

**Ланкин Р.И., Францкевич В.С.**  
(БГТУ)

**Шаповалов Ю.П.**  
(ООО «Газоочистка инжиниринг»)

### **ГИДРОДИНАМИКА В АППАРАТАХ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ**

Мокрая очистка – один из эффективных способов удаления загрязнений из газовых потоков. Аппараты мокрого пылеулавливания (скрубберы и абсорберы) просты по конструкции. Широкое распространение в пылеулавливании получили аппараты с подвижной насадкой, несмотря на то, что появились они сравнительно недавно. Аппараты с подвижной насадкой могут работать при различных режимах.

В аппаратах с подвижной насадкой увеличение эффективности процессов массообмена обеспечивается псевдооживленными насадочными телами. Насадки, находящиеся внутри аппарата, удерживаются в подвешенном состоянии потоком газа. Жидкость, орошающая насадку, создает пленку, закрывающую поверхность насадочных тел, или, в более насыщенных режимах, включается в состав барботажного газожидкостного слоя, либо находится в виде струй и капель, распределенных в газе.

Абсорбер разделен поперечными газораспределительными решетками на секции. На решетки помещается насадка из элементов определенной формы. Нижняя решетка называется опорно-распределительной и необходима для предотвращения провала элементов насадочных тел, а верхняя – ограничительная – предотвращает унос насадки за пределы слоя. В аппаратах может находиться несколько секций: в этом случае часть опорных решеток выступает в качестве ограничительных решеток для нижележащих секций.