

(ХНГ) и с температурным компенсатором на кожухе одноходовой по трубам с поверхностью теплообмена 124 м^2 [3].

В качестве доохладителя 3 предполагается использовать имеющийся кожухотрубчатый теплообменник поверхностью теплообмена 57 м^2 , который в настоящее время используется для охлаждения воздуха оборотной водой после 2-й ступени компрессора.

Производительность насоса 5 для циркуляции отопительной воды $16 \text{ м}^3/\text{час}$. Создаваемый им напор определяется гидравлическим сопротивлением тракта отопительной воды и ориентировочно равен $0,1 \text{ МПа}$ (давление до насоса $0,3 \text{ МПа}$, после него – $0,4 \text{ МПа}$). Для циркуляции оборотной воды может быть использован имеющийся в ОАО «Крион» насос и дополнительных устройств не требуется. Ориентировочный объем сборника 4 – 1 м^3 , в качестве которого возможно использование имеющихся на предприятии емкостей.

Из результатов расчетов следует, что при использовании тепла 2-ой ступени компрессора достигается экономия тепловой энергии $861,98 \text{ кВт} = 4,241 \text{ ГДж}$ или $144,7$ тонн условного топлива в течение отопительного периода длительностью 205 суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрин, В.С. Рекуперация тепловой энергии в компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок / В.С.Шадрин, В.В.Козлов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2016. – № 02. – С. 38–50.

2. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков – Л.: Химия, 1976. – 552 с.

3. Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения: Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. – 40 с.

УДК 661.152.3'1'2'3.022.5.011 (476)

Высоцкая Н.А.
(ЗАО «СИПР с ОП»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НРК-УДОБРЕНИЙ В ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

В технологической схеме производства НРК-удобрений в ОАО «Беларуськалий» в качестве сырья используется кек калия хлористого, аммофос, диаммофос, карбамид, сульфат аммония, микродобавки.

Производственная мощность комплексных сложно-смешанных NPK-удобрений – 240 тыс. тонн в год, при этом производственная мощность в час, составляет 30-35 тонн удобрения [1].

Рынки сбыта NPK-удобрений – Республика Беларусь и страны ближнего и дальнего зарубежья.

В ОАО «Беларуськалий» выпускаются NPK-удобрения различных марок: 5:16:35 Cu, Mn; 6:12:20 B, Mn; 6:12:20 B, Cu; 7:15:30 Cu, Mn, Mo; 7:16:31:0,25 B.

Цель технологического процесса производства NPK-удобрений цеха по производству сложно-смешанных удобрений на Третьем рудоправлении ОАО «Беларуськалий» – производство азотно-фосфорно-калийных удобрений в соответствии с требованиями пускового технологического регламента в объеме, соответствующем плану по производству комплексных удобрений.

Проводится результативная оценка технологического процесса. Оцениваются экономические показатели и продукция (полуфабрикат).

Экономические показатели подразумевают под собой процент выполнения плана по производству NPK-удобрений и себестоимость продукции.

Показатели продукции определяют качество выпускаемой продукции (полуфабриката) – комплексных азотно-фосфорно-калийных (NPK) удобрений. При оценке выпускаемой продукции (полуфабриката) учитываются нормируемые показатели в соответствии с пусковым технологическим регламентом для каждой марки складываемой продукции за данный период времени.

Процесс гранулирования считается нерезультативным, если процент выполнения плана производства комплексных NPK удобрений менее 90 %; себестоимость продукции превышает плановую более чем на 10 %.

Оценка результативности процесса выполняется ежеквартально и по результатам работы за год [2].

Насыпная плотность NPK-удобрений варьируется от 0,92 до 1,24 г/см³ и зависит от марки удобрений.

Для уменьшения слеживаемости гранулы удобрений обрабатываются кондиционирующей смесью.

По химическому составу комплексные удобрения должны соответствовать данным из таблицы 1.

На 3 сальвинитово-обогащительной фабрике ОАО «Беларуськалий» гранулирование происходит методом окатывания в барабанном грануляторе. С целью повышения результативности работы процесса образования гранул в гранулятор дополнительно подается водяной пар и, если есть необходимость, дополнительно распыляется вода.

Таблица 1 – Химический состав комплексных удобрений

№ п/п	Марка удобрения	Характеристика и норма для марки			
		Массовая доля, %			
		общего азота (N)	общих фосфатов (P ₂ O ₅)	калия (K ₂ O)	воды, не более
1	7-20-30	7±1	20±1	30±1	1,8
2	8-17-27	8±1	17±1	27±1	1,8
3	15-15-15	15±1	15±1	15±1	1,8
4	7-16-30+0,15B+0,2Zn	7±1	16±1	30±1	1,8
5	13-11-19+0,15Cu+0,2Mn	13±1	11±1	19±1	1,8

Процесс гранулирования осуществляется в результате двух последовательных процессов:

- сегрегация частиц по размерам в поперечном сечении вращающегося барабана – процесс, при котором происходит перераспределением неоднородных частиц материала.

- рост гранул.

В пределах участков барабана гранулометрический состав не изменяются во времени. Весь материал в барабане можно условно разделить на поднимающиеся и скатывающиеся слои (рисунок 1). Гранулометрический состав является функцией радиуса движения частиц в поднимающемся слое.

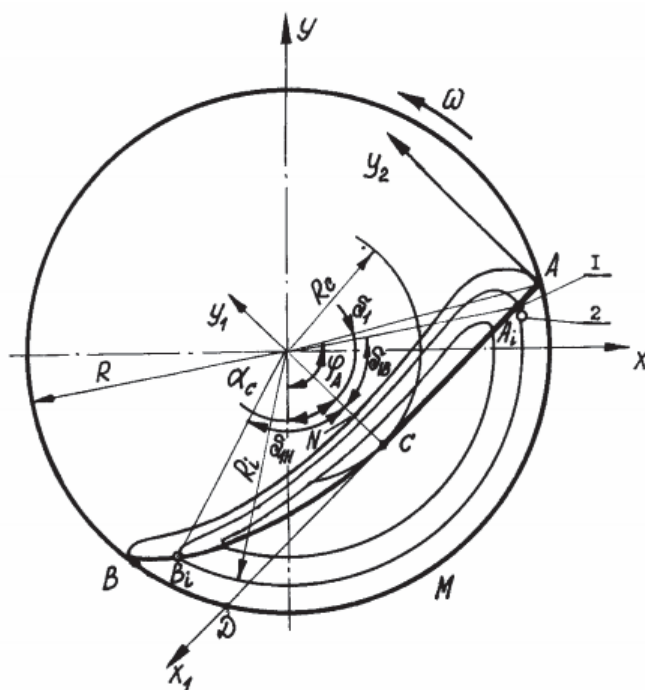


Рисунок 1 – Схема к определению параметров движения сыпучего материала

При вращении барабана на частицу, находящуюся на открытой поверхности сегмента материала, действуют гравитационные и центробежные силы. Немаловажными параметрами в процессе окатывания являются угол наклона барабана, при котором начинается движение частиц по открытой поверхности; внутренний радиус барабана; коэффициент трения между частицами сыпучего материала и угол перехода частицы в движение, а также масса частицы.

Из рисунка 1 видно, что в точке А частица находится в самом невыигрышном положении, т.к. на нее действует тормозящая составляющая от центробежной силы. Значение угла, при котором начинается движение частицы из этой точки, можно определить из выражения (1).

$$\alpha_{\omega} = \arccos \left\{ \frac{-f_{\Pi} \omega^2 R (\sin \delta_0 + f_{\Pi} \cos \delta_0) + \sqrt{f_{\Pi}^2 + 1 - \frac{\omega^4 R^2 (\sin \delta_0 + f_{\Pi} \cos \delta_0)}{g^2}}}{f_{\Pi}^2 + 1} \right\}, \quad (1)$$

где f_{Π} – коэффициент трения между частицами сыпучего материала; ω – угловая скорость вращения барабана; g – ускорение свободного падения; φ – угол перехода частицы из состояния покоя к движению.

Площадь поперечного сечения неподвижного материала относительно обечайки барабана является суммой двух площадей – кругового сегмента AD и фигуры, характеризуемой прямой CD , кривой CB и дугой окружности BD .

Массу материала, находящегося в барабане, можно вычислить из выражения (2) [3].

$$M = \frac{0,5L\rho R^2}{2\delta_0 - \sin 2\delta_0}, \quad (2)$$

где L – длина барабана; ρ – насыпная плотность материала; R – внутренний радиус барабана.

В свою очередь масса поднимающегося слоя определяется выражением (3).

$$M_{\Pi} = LS_{\Pi}\rho, \quad (3)$$

где S_{Π} – площадь поперечного сечения материала, находящегося в барабанном грануляторе.

При определении массы материала, находящегося в барабане и массы поднимающегося слоя, не учитывается степень разрыхления

материала. Коэффициент заполнения барабана-гранулятора материалом является величиной постоянной.

Время движения i -й частицы на участке разгона определяется как (4):

$$\tau_{pi} = \frac{\omega R_c}{a} + \sqrt{\left(\frac{\omega R_c}{a}\right)^2 + \frac{2}{a} \sqrt{R_i^2 - R_c^2}}, \quad (4)$$

где R_c – радиус центра циркуляции частицы, при котором на тяжелые частицы воздействуют силы поперечной циркуляции частицы перемещаются в центр вращения; a – ускорение движения частицы; R_i – радиус, на котором находится точка перехода частицы из поднимающегося слоя в скатывающийся.

Частицы движутся равнозамедленно на участке торможения. Время торможения i -й частицы представлено в выражении (5)

$$\tau_{ti} = L_{ti} \frac{\left(1 + \frac{v_{ik}}{v_{ic}}\right)}{\left(\frac{v_{ic}}{2} - \frac{v_{ik}^2}{v_{ic}}\right)}, \quad (5)$$

где L_{ti} – путь торможения частицы; v_{ik} – проекция скорости частицы, в момент перехода из скатывающегося слоя в поднимающийся; v_{ic} – скорость частицы, при прохождении центрального сечения, находится из выражения (6)

$$v_{ic} = \sqrt{\omega^2 R_c^2 + 2a \sqrt{R_i^2 - R_c^2}}, \quad (6)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Цех по производству NPK-удобрений [Электронный ресурс] // ОАО «Беларуськалий». URL : <https://belaruskali.by/company/proizvodstvo/tsekh-po-proizvodstvu-npk-udobreniy/>. (Дата обращения : 28.09.2022).

2. Описание технологического процесса производства комплексных азотно-фосфорно-калийных (NPK) удобрений Цеха по производству комплексных сложно-смешанных удобрений в Третьем рудоуправлении ОАО «Беларуськалий». – Введ. 17.03.2015. – Солигорск : ОАО «Беларуськалий», 2015. – 4 с.

3. Першин, В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа : монография / В.Ф.Першин., В.Г. Однолько, С.В.Першина . – Москва : «Машиностроение», 2009. – 141 с.