

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.013; 621.928; 622.74.

Ю.Г. Чурин, канд. техн. наук

Костромская государственная сельскохозяйственная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ДВУХЪЯРУСНЫХ СЕПАРАТОРАХ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

Сепараторы вибрационного типа находят широкое применение при переработке сельскохозяйственной продукции, в производстве строительных материалов, в угольной промышленности и т. п. Важнейшим показателем процесса сепарации является коэффициент эффективности (эффективность грохочения): отношение объема сортируемого материала, прошедшего через рабочий орган сепаратора (разделительную поверхность — сетку, решето и т. п.), к объему нижних классов в исходном материале, подлежащем сортировке.

Во многих производственных процессах широкое применение находят двухъярусные сепараторы, имеющие две разделительные поверхности; при этом готовым продуктом является сортируемая масса, сходящая с нижнего яруса, т. е. верхний продукт нижнего яруса, который по показателям эффективности и засоренности нижними классами должен соответствовать существующим нормативным документам (ГОСТам, техническим условиям и т. п.).

Автору исследования [1] удалось разработать методику определения эффективности на одноярусном сепараторе, исходя из конструктивных и технологических параметров сепаратора (в отличие от предшествующих работ в этом направле-

нии, результатом которых были эмпирические зависимости, не дававшие возможности целенаправленно совершенствовать параметры существующих сепараторов).

Это исследование было использовано для создания методики расчета эффективности на нижнем ярусе двухъярусного сепаратора [2]. Недостатком этой методики является необходимость выполнения большого объема вычислений.

Целью настоящего исследования является устранение этого недостатка.

Как известно, процесс сортировки происходит благодаря последовательным контактам материала с разделительной поверхностью сепаратора.

Процесс сепарации как непрерывный процесс проникновения гранул нижних классов сортируемого материала через разделительные поверхности рассматривают аналогично указанному в работе [3].

Однако описание этого процесса разделения уравнением (1) [3] для двухъярусного сепаратора привело к значительным математическим трудностям и в то же время не позволило избежать отмеченного недостатка.

В связи с этим в качестве исходной была использована гипотеза: «Количество сортируемой

массы, проходящей через разделительную поверхность сепаратора в единицу времени пропорционально количеству нижних классов над разделительной поверхностью в данный момент времени», которая соответствует низкому содержанию нижних классов в сортируемом материале, что и имеет место на практике использования сепараторов вибрационного типа при грамотном планировании подготовительных операций.

В этом случае процесс сепарации будет описываться следующим уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha(Q_H - Q),$$

где Q — количество сортируемой массы, прошедшей за время t через разделительную поверхность; Q_H — количество сыпучей массы нижних классов в исходном материале; α — коэффициент пропорциональности.

Частное решение этого уравнения при начальном условии — $Q = 0$ при $t = 0$:

$$\frac{Q}{Q_H} = 1 - e^{-\alpha t} \quad (1)$$

определяет эффективность процесса сепарации в момент t .

За период времени t_1 между первым и вторым контактами сыпучей массы с разделительной поверхностью, т. е. в результате первого контакта, эффективность составит (см. формула (1) [3]):

$$E_1 = \frac{\sum^{(1)}}{\gamma_0}, \quad (2)$$

где γ_0 — относительное содержание нижних классов в исходной сыпучей массе; $\sum^{(1)} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^{k=k_1} \left(\sum_{i=1}^{i=m} p_i \Delta \gamma_i^{(1)} \right)^k$, здесь

k_1 — число условных слоев исходной сыпучей массы; p_i — вероятность прохода единичной гранулы класса i через разделительную поверхность рабочего органа сепаратора; $\Delta \gamma_i^{(1)}$ — относительное содержание гранул класса i в исходной сыпучей массе; m — число нижних классов.

Очевидно, что можно принять

$$t_1 \cong \frac{T}{n_T},$$

где T — время цикла сортировки (среднее время пребывания на разделительной поверхности некоторого, достаточно малого объема сортируемого материала); n_T — число контактов сыпучей массы с разделительной поверхностью за цикл сортировки.

Из уравнения (1) с учетом (2):

$$\alpha = 1n \left(1 - \frac{\sum^{(1)}}{\gamma_0} \right)^{\frac{1}{t_1}}, \quad (3)$$

тогда эффективность в результате n контактов (т. е. за время цикла сортировки T) определится выражением

$$E = 1 - \left(1 - \frac{\sum^{(1)}}{\gamma_0} \right)^{n_T}. \quad (4)$$

Установлено, что результаты вычисления эффективности, проведенные по этой формуле, дают значение ниже, чем ее значения, полученные в результате экспериментов (относительная погрешность — до 7%); тем не менее она может быть использована, в частности, для исследования процесса сепарации на двухъярусном сепараторе; при этом значения параметров сепаратора (например, длины рабочего органа), полученные в результате ее применения, будут обеспечивать значения эффективности не ниже заданных. Можно отметить, что для случая сортировки двухфракционной смеси без учета выхода нижних классов из слоев сыпучей массы выше первого:

$$\sum^{(1)} \cong \frac{p\gamma_0}{k_1},$$

тогда

$$E \cong 1 - \left(1 - \frac{p}{k_1} \right)^{n_T}.$$

где p — вероятность прохода через разделительную поверхность гранулы нижнего класса.

Для использования упрощенной гипотезы при исследовании процесса сепарации на двухъярусном сепараторе приняты обозначения, использованные в работе [2]. Кроме этого обозначено: $\gamma_B, \gamma_C, \gamma_H$ — относительные содержания в исходной сыпучей массе гранул верхнего, среднего и нижнего классов; Q_1 — количество сыпучей массы, поступившее на верхний ярус за некоторый, достаточно малый промежуток времени.

Количество массы, прошедшей за время t через разделительную поверхность верхнего яруса, в соответствии с уравнением (1) составит:

$$Q = Q_1(\gamma_C + \gamma_H)(1 - e^{-\alpha_B t}).$$

Выражение

$$\frac{Q}{Q(\gamma_C + \gamma_H)} = (1 - e^{-\alpha_B t})$$

определяет эффективность сепарации на верхнем ярусе в момент t .

В результате первого взаимодействия (в момент t_1) эффективность на верхнем ярусе (2) такова:

$$E_{1B} = \frac{\sum_B^{(1)}}{\gamma_C + \gamma_H},$$

$$\text{где } \sum_B^{(1)} = \frac{1}{k_{1B}} \sum_{k=1}^{k=k_{1B}} \left(\sum_{i=1}^{i=m_B} p_{iB} \Delta \gamma_{iB}^{(1)} \right)^k.$$

Из равенства $E_{1B} = 1 - e^{-\alpha_B t_1}$ определяется коэффициент α_B :

$$\alpha_B = -\frac{1}{t_1} \ln \left(1 - \frac{\sum_B^{(1)}}{\gamma_C + \gamma_H} \right). \quad (5)$$

Продолжительность одного взаимодействия (промежуток времени между двумя последовательными контактами сортируемого материала с разделительной поверхностью)

$$t_1 = v/n_0,$$

где v — коэффициент режима сепарации [3]; n_0 — частота колебаний (вибраций) рабочего органа сепаратора.

С учетом этого

$$\alpha_B = -\frac{n_0}{v} \ln \left(1 - \frac{\sum_B^{(1)}}{\gamma_C + \gamma_H} \right).$$

Таким образом, за время цикла сортировки T эффективность сепарации на верхнем ярусе составит

$$E_B = 1 - \left(1 - \frac{\sum_B^{(1)}}{\gamma_C + \gamma_H} \right)^{n_T},$$

где $n_T \cong T/t_1$ — число контактов (взаимодействий) сыпучей массы с рабочим органом сепаратора за цикл сортировки.

Процесс сепарации на нижнем ярусе описывается уравнением

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha_H (Q_{HH} - Q), \quad (6)$$

где Q_{HH} — количество нижнего класса (по отношению к нижнему ярусу) в сыпучей массе, поступившей с верхнего яруса за время t ; оно определяется выражением (1):

$$Q_{HH} = Q_1 \gamma_H (1 - e^{-\alpha_B t}).$$

Решение уравнения (6)

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha_H [Q_1 \gamma_H (1 - e^{-\alpha_B t}) - Q]$$

при начальном условии: $t = 0, Q = 0$:

$$\frac{Q}{Q_1 \gamma_H} = 1 - \frac{\alpha_H e^{-\alpha_B t} - \alpha_B e^{-\alpha_H t}}{\alpha_H - \alpha_B}.$$

Определяя эффективность сепарации $E_H(t)$ на нижнем ярусе в момент t :

$$E_H(t) = 1 - \frac{\alpha_H e^{-\alpha_B t} - \alpha_B e^{-\alpha_H t}}{\alpha_H - \alpha_B}. \quad (7)$$

Следует иметь в виду, что если $\alpha_B = \alpha_H = \alpha$, эффективность

$$E_H(t) = 1 - (1 + \alpha t)e^{-\alpha t}.$$

Для определения коэффициента α_H примем во внимание, что в момент $t_1 = T/n_T$ эффективность сортировки на нижнем ярусе (в предположении, что продолжительность цикла сортировки на верхнем и нижнем ярусе одинакова):

$$E_{1H} = \frac{\sum_H^{(1)}}{\gamma_H},$$

$$\text{где } \sum_H^{(1)} = \frac{1}{k_{1H}} \sum_{k=1}^{k=k_{1H}} \left(\sum_{i=1}^{i=m_H} p_{iH} \Delta \gamma_{iH}^{(1)} \right)^k.$$

Уравнение (7) принимает вид

$$\frac{\sum_H^{(1)}}{\gamma_H} = 1 - \frac{\alpha_H e^{-\alpha_B t_1} - \alpha_B e^{-\alpha_H t_1}}{\alpha_H - \alpha_B}. \quad (8)$$

Из него при известном значении α_B (5) можно определить коэффициент α_H (используя любой из численных методов); при этом промежуток времени между двумя последовательными контактами сыпучей массы с рабочим органом сепаратора $t_1 = v/n_0$.

Таким образом, если известно время цикла

$$\text{сортировки } T = \frac{L}{\bar{v}},$$

где \bar{v} — средняя скорость перемещения сортируемого материала вдоль разделительной поверхности, а L — длина ее, то эффективность сепарации за цикл сортировки на нижнем ярусе определится выражением

$$E_H = 1 - \frac{\alpha_H e^{-\alpha_B T} - \alpha_B e^{-\alpha_H T}}{\alpha_H - \alpha_B}. \quad (9)$$

Если $\alpha_B = \alpha_H = \alpha$, то $E_H = 1 - (1 + \alpha T)e^{-\alpha T}$.

Следует заметить, что, несмотря на необходимость использования численных методов, объем вычислений при определении эффективности сепарации на нижнем ярусе двухъярусного виброгрохота по данной методике на несколько порядков меньше, чем по схеме, изложенной в работе [2].

Список литературы

1. Чурин Ю.Г. Применение теории сепарации при проектировании сепараторов вибрационного типа // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2010. — Вып. 1(40).
2. Чурин Ю.Г. Исследование процесса сепарации сыпучих материалов на двухъярусном сепараторе // Труды Костромской ГСХА. — 2007. — Вып. 66.
3. Чурин Ю.Г. К вопросу исследования процесса сепарации сыпучих смесей // Труды Костромской ГСХА. — 2006. — Вып. 65.