

С.С. Ямпиров, д-р техн. наук, проф., e-mail: yampilovss@mail.ru

В.Б. Балданов, аспирант

Б.Д. Цыдендоржиев, канд. техн. наук, доц.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

Ю.А. Сергеев, д-р техн. наук, проф.

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, г. Улан-Удэ

УДК 631.362

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ГРАВИТАЦИОННЫМ СЕПАРАТОРОМ

В статье изложена математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором.

Ключевые слова: гравитационный сепаратор, зерновой материал, полнота просеивания частиц, интенсивность просеивания частиц.

S.S. Yampilov, D.Sc. Engineering, Prof.

V.B. Baldanov, P.G.

B.D. Tsydendorzhiev, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof.

Yu.A. Sergeev, D. Sc. Engineering, Prof.

MATHEMATICAL MODEL OF GRAIN SEPARATION WITH A GRAVITY SEPARATOR

The paper presents the mathematical model of grain separation process in a gravity separator.

Key words: gravity separator, grain material, efficiency of grain particles separation, the dressability.

Чтобы определить оптимальные параметры гравитационного сепаратора для очистки зерна с использованием сил гравитации, необходимо представить процесс просеивания с помощью математической модели.

Рассмотрим процесс сепарации зернового материала гравитационным сепаратором. Предположим при этом, что зерновой материал состоит из трех компонентов: основной компонент – зерно, которое составляет до 85 % от массы исходного зернового материала, и крупная и мелкая примесь, составляющие до 15 % от исходной зерновой массы.

Согласно конструктивной схеме, гравитационный сепаратор для очистки зерна (рис.) имеет:

- центральный канал, предназначенный для выделения мелких примесей. В нем установлены прутковые сепарирующие гребенки, у которых зазор между прутками меньше толщины основного зерна;
- боковые каналы, которые расположены справа и слева от центрального канала и предназначены для выделения крупных примесей;
- боковые каналы, которые расположены спереди и сзади от центрального канала и предназначены для дополнительного выделения мелких примесей.

Разработанный сепаратор отличается от всех существующих тем, что в нем исходный зерновой материал делится на две части для уменьшения удельной нагрузки на гребенки. Как показали предварительные исследования, уменьшение удельной нагрузки на сепарирующие гребенки позволяет увеличить эффективность выделения мелких и крупных примесей.

Исходный зерновой материал попадает из бункера-питателя на правую сторону сепаратора и вначале поступает на сплошной накопитель, в котором происходит перераспределение частиц зернового материала. Более мелкие частицы примеси и основное зерно опускаются в нижние слои, а затем поступают на верхнюю первую гребенку. Зазор между прутками выбран таким образом, что мелкие примеси и основное зерно проходят в отверстия гребенки,

а крупные примеси не проходят. Частицы крупной примеси и непрошедшие частицы основного зерна идут сходом с верхней первой гребенки и поступают на скатную доску.

После скатной доски они поступают на сплошной накопитель, на котором происходит перераспределение частиц в слое. Мелкие частицы зернового материала опускаются в его нижние слои, а затем поступают на верхнюю вторую гребенку, где мелкие примеси и основное зерно проходят в отверстия второй гребенки, а частицы крупной примеси и непрошедшие частицы основного зерна идут сходом и поступают на нижерасположенную скатную доску. Перемещаясь по этой скатной доске, зерновой материал поступает на верхнюю третью гребенку, где частицы мелкой примеси и основного зерна проходят в отверстия гребенки, а частицы крупной примеси попадают в правый канал вывода крупной примеси.

Частицы мелкой примеси и основного зерна, прошедшие в отверстия верхней первой гребенки, поступают на нижерасположенную скатную доску. После нее они поступают на другую скатную доску и при этом меняют направление движения. Происходит перераспределение частиц в зерновом слое. Частицы мелкой примеси опускаются в нижние слои. Затем прошедший материал (мелкие примеси и основное зерно) со скатной доски поступает на сплошной накопитель, где этот материал меняет направление и поступает на гребенку для выделения частиц мелкой примеси, в которой зазор между прутками выбран таким образом, что частицы мелкой примеси проходят в отверстия (щели) между прутками, а частицы основного зерна не проходят.

Частицы мелкой примеси проходят в отверстия верхней гребенки для выделения частиц мелкой примеси и поступают на скатную доску для вывода в боковую сторону сепаратора. А частицы основного зерна с непрошедшими частицами мелкой примеси поступают на сплошной накопитель, где материал меняет направление движения, и происходит перераспределение частиц в слое, далее материал поступает на верхнюю вторую гребенку для выделения частиц мелкой примеси. Частицы мелкой примеси проходят в отверстия гребенки, попадают на скатную доску, а затем направляются на вывод в боковую сторону.

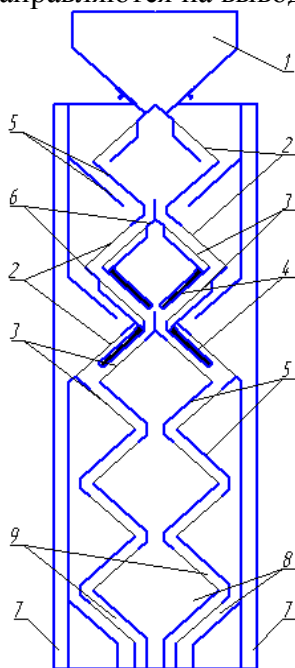


Рис. Схема гравитационного сепаратора:

- 1 – бункер-питатель; 2 – сепарирующие гребенки для выделения крупной примеси;
- 3 – сепарирующие гребенки для выделения мелкой примеси; 4 – патрубок для вывода мелкой примеси в боковую сторону; 5 – скатные доски; 6 – сплошные накопители; 7 – каналы вывода крупной примеси; 8 – каналы вывода мелкой примеси; 9 – каналы вывода основного зерна

Непрошедший материал (основное зерно с частицами мелкой примеси) поступает на сплошной накопитель, где материал меняет направления движения, а затем поступает на гребенку, где частицы мелкой примеси проходят в отверстия и поступают на скатную доску, а затем в центральный канал вывода мелкой примеси. Непрошедший материал поступает на нижерасположенный сплошной накопитель, а затем на гребенку, на которой идет выделение частиц мелкой примеси, которые попадают в боковой канал вывода мелкой примеси, и так далее. Вторая часть исходного зернового материала поступает на верхнюю первую гребенку, в отверстия которой проходят частицы основного зерна и мелкой примеси. А частицы крупной примеси с частицами мелкой примеси и основного зерна, не прошедшие в отверстия гребенок, идут сходом. Процесс сепарации зернового материала на левой стороне сепаратора аналогичен процессу сепарации на правой стороне сепаратора.

Для описания процесса сепарации зернового материала в гравитационном сепараторе предположим, что процесс просеивания осуществляется в однородных условиях, т.е. частицы компонентов зерна одинаковы и гребенки одинаковы (размеры отверстий между прутками одинаковы, как и их длина). При этом полнота просеивания проходových частиц (основного зерна) ε_1^0 на участке гребенки длиной x_1 , на верхней первой гребенке, где расстояние между прутками в гребенках одинаково и выбрано таким образом, что частицы основного зерна проходят в отверстия гребенок, а частицы крупной примеси не проходят, при подаче зернового материала слоем определенной толщины, определяется выражением:

$$\varepsilon_1^0 = P^0 (1 - e^{-\mu_0 x_1}), \quad (1)$$

где μ_0 – интенсивность просеивания проходových частиц (основного зерна), дм^{-1} ; x_1 – длина верхней первой гребенки правой стороны сепаратора, дм ; P^0 – исходное количество основного зерна, поступающего на верхнюю первую гребенку правой стороны сепаратора; μ_0 – интенсивность просеивания частиц основного зерна, которая зависит от следующих факторов: размеров частиц основного зерна, физико-механических свойств основного зерна, характера распределения материала на гребенке, удельной нагрузки, параметров гребенки (угол наклона гребенок к горизонту, длины гребенок), конструкции гребенок, состоянии поверхности гребенки.

Частицы основного зерна и крупная примесь через верхнюю первую гребенку поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель.

Полнота просеивания частиц основного зерна на верхней второй гребенке определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2^0 = (P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_1})(1 - e^{-\mu_0 x_2}), \quad (2)$$

где x_2 – длина верхней второй гребенки с правой стороны сепаратора, дм .

Непрошедшие частицы основного зерна через верхнюю вторую гребенку и крупные примеси поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель и верхнюю третью гребенку на правой стороне. Полнота просеивания частиц основного зерна на верхней третьей гребенке определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_3^0 = [(P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_1})(1 - e^{-\mu_0 x_2})](1 - e^{-\mu_0 x_3}), \quad (3)$$

где x_3 – длина верхней третьей гребенки, дм .

Сходом с верхней третьей гребенки идут частицы крупной примеси и поступают в правый боковой канал крупных примесей.

Исходное количество частиц мелкой примеси, поступившее на верхнюю первую гребенку правой стороны сепаратора, составляет $P^{(M)}$. Полноту просеивания частиц мелкой примеси на верхней первой гребенке правой стороны сепаратора можно определить:

$$\varepsilon_1^{(M)} = P^{(M)} (1 - e^{-\mu_M x_1}), \quad (4)$$

где μ_M – интенсивность просеивания частиц мелкой примеси через верхнюю первую гребенку, дм^{-1} ; x_1 – длина верхней первой гребенки правой стороны сепаратора, дм .

Непрошедшие частицы мелкой примеси через верхнюю первую гребенку поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на верхней второй гребенке определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2^{(M)} = (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2}), \quad (5)$$

где x_2 – длина верхней второй гребенки, дм.

Непрошедшие частицы мелкой примеси через верхнюю вторую гребенку поступают сходом на нижерасположенную скатную доску и дальше на сплошной накопитель и верхнюю третью гребенку. Полнота просеивания частиц мелкой примеси на верхней третьей гребенке определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_3^{(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M x_3}), \quad (6)$$

где x_3 – длина верхней третьей гребенки, дм.

Частицы мелкой примеси, пройдя в отверстие верхней первой гребенки, поступают на скатную доску, а затем на нижерасположенную скатную доску. При этом материал меняет направление движения и попадает на сплошной накопитель, а затем на гребенку для выделения мелкой примеси. То есть в этой гребенке зазор между прутками выбран таким образом, что в отверстия проходят частицы мелкой примеси, а частицы основного зерна не проходят.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси через первую гребенку для выделения мелких примесей определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_1^{y(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) + \varepsilon_2^{(M)}(1 - e^{-\mu_M x_3})], \quad (7)$$

где $\mu_M^{(y)}$ – интенсивность просеивания частиц мелкой примеси через отверстия первой гребенки для выделения мелких примесей, дм⁻¹; $x_1^{(y)}$ – длина первой гребенки для выделения мелких примесей, дм. Если подставим значение $\varepsilon_2^{(M)}$ в формулу, то получим:

$$\varepsilon_1^{y(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}). \quad (8)$$

Прошедшие частицы мелкой примеси поступают на скатную доску, а затем выводятся в боковую сторону.

Частицы мелкой, не прошедшие в отверстия первой гребенки для выделения мелких примесей, поступают на нижерасположенный сплошной накопитель, меняют направление движения и поступают на вторую гребенку для выделения мелких примесей.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на второй гребенке для выделения мелких примесей определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2^{(M)} = \{[(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y})\}(1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}), \quad (9)$$

где $x_2^{(y)}$ – длина второй гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Частицы мелкой примеси, прошедшие в отверстия второй гребенки для выделения мелких примесей, поступают на нижерасположенную скатную доску, а затем выводятся в боковую сторону. А частицы мелкой примеси, не прошедшие в отверстия второй гребенки для выделения мелких примесей, поступают на сплошной накопитель, а затем на третью гребенку для выделения мелких примесей. Кроме того, на третью гребенку для выделения мелких примесей поступают частицы мелкой примеси сверху (с третьей гребенки правой стороны сепаратора).

Полноту просеивания частиц мелкой примеси на третьей гребенке для выделения мелких примесей можно определить по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \varepsilon_3^{(M)} = & \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})] \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_2}) \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) \} (1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}) \} \\ & + \varepsilon_3^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_3^y}), \end{aligned} \quad (10)$$

где $x_3^{(y)}$ – длина третьей гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Частицы мелкой примеси, прошедшие в отверстия третьей гребенки для выделения мелких примесей, поступают на скатную доску, а затем в центральный канал вывода мелкой примеси. А непрошедшие частицы мелкой примеси совместно с основным зерном сходом поступают на сплошной накопитель, а затем на четвертую гребенку для выделения мелких примесей. Кроме того, сверху поступает прошедший зерновой материал через третью гребенку.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на четвертой гребенке для выделения мелких примесей определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} \varepsilon_4^{(M)} = & \{ \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})] \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_2}) \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}) \} + \varepsilon_3^{(M)} \} \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M^y x_3^y}) \} + \varepsilon_4^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_4^y}), \end{aligned} \quad (11)$$

где $x_4^{(y)}$ – длина четвертой гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Аналогично можно определить полноту просеивания частиц основного зерна на верхней третьей гребенки левой стороны, обозначив $\varepsilon_{3л}^0$:

$$\varepsilon_{3л}^0 = [(P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_{1л}})(1 - e^{-\mu_0 x_{2л}})](1 - e^{-\mu_0 x_{3л}}), \quad (12)$$

где $x_{1л}$ – длина верхней первой гребенки на левой стороне.

Соответственно можно определить полноту просеивания частиц мелкой примеси на верхней третьей гребенке левой стороны:

$$\varepsilon_{3л}^{(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_{1л}})(1 - e^{-\mu_M x_{2л}})](1 - e^{-\mu_M x_{3л}}), \quad (13)$$

где $x_{2л}$ – длина верхней второй гребенки на левой стороне; $x_{3л}$ – длина верхней третьей гребенки на левой стороне.

Аналогично можно определить полноту просеивания частиц мелкой примеси на четвертой гребенке для выделения мелких примесей левой стороны:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{4л}^{(M)} = & \{ \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_{1л}}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_{1л}})] \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_{2л}}) \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{1л}^y}) \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{2л}^y}) \} + \varepsilon_3^{(M)} \} \\ & (1 - e^{-\mu_M^y x_{3л}^y}) \} + \varepsilon_{4л}^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{4л}^y}), \end{aligned} \quad (14)$$

где $x_{4л}$ – длина четвертой гребенки левой стороны для выделения мелких примесей.

Полноту просеивания зерна основной культуры через сепарирующие каналы правой стороны и левой стороны гравитационного сепаратора определяют по следующей формуле:

$$\sum \varepsilon_n^0 = \varepsilon_3^0 + \varepsilon_{3л}^0. \quad (15)$$

Полноту просеивания частиц мелкой примеси через сепарирующие каналы правой и левой стороны гравитационного сепаратора на четвертой гребенке для выделения мелкой примеси можно определить по следующей формуле:

$$\sum \varepsilon_n^M = \varepsilon_4^{(M)} + \varepsilon_{4л}^{(M)}. \quad (16)$$

Аналогично можно определить полноту просеивания частиц мелкой примеси через сепарирующие каналы правой стороны и левой стороны гравитационного сепаратора на пятой, шестой и т.д. гребенке для выделения мелких примесей.

Вывод

Разработана математическая модель процесса сепарации зернового материала на гравитационном сепараторе, которая позволяет определять полноту просеивания компонентов

зернового материала в зависимости от физико-механических свойств компонентов, конструктивных параметров гравитационного сепаратора и удельной нагрузки.

Библиография

1. *Ямпиров С.С., Балданов В.Б.* Интенсификация процесса разделения частиц зернового материала на гравитационном сепараторе: сб. науч. тр. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – Вып. 8. – С. 171–173.

Bibliography

1. *Yampilov S.S., Baldanov V.B.* The intensification of the grain separation process with a gravity separator. Collection of scientific papers. – Ulan-Ude: ESSTU Press, 2012. – Issue. 8. – P. 171–173.